MANUAL DEL RADIO EXPERIMENTADOR



Ing. AGUSTÍN RIU

MANUAL

DEL

RADIOEXPERIMENTADOR

OBRAS del Ing. AGUSTIN RIU

GUÍA PRÁCTICA DE RADIO — 4.ª edición

La obra básica de esta colección. En este libro se exponen los conocimientos fundamentales de la radioelectricidad sin tecnicismos ni fórmulas, resolviendo todos los problemas mediante gráficos. Está ilustrado con unas 100 figuras y esquemas.

RADIO RECEPCIÓN MODERNA — 4.ª edición

Toda la teoría y práctica de la recepción radioeléctrica se describe en esta obra. Trata extensamente la instalación y reparación de receptores, con tablas sistemáticas para determinar rápidamente las averías. Numerosos esquemas de receptores comerciales. Texto profusamente ilustrado con más de 100 figuras.

MANUAL DEL RADIO EXPERIMENTADOR — 6.ª edición

Obra destinada a los que quieren profundizar la teoría de la radioelectricidad. Demostración razonada de todas las fórmulas que intervienen en la radio y aplicación práctica de las mismas con más de 100 problemas resueltos, intercalados en el texto, ilustrado con más de 100 figuras, esquemas y diagramas.

EL CINE SONORO LA RADIOVISIÓN — 2.ª edición

El primer título explica, con gran profusión de grabados, cómo funciona el Cine Sonoro, siendo además un verdadero Manual del Operador debido a la forma sistemática de clasificar todas las averías del equipo y su remedio: amplificador, célula-excitadora, crono, arco, altavoces, etc. **Radiovisión** describe el funcionamiento y construcción de un receptor de esta clase, así como las anomalías que presentan: inversión de las imágenes, desplazamientos, imágenes negativas, etc., y forma de corregir estos defectos.

EN PREPARACIÓN

MANUAL DEL RADIO EXPERIMENTADOR — II tomo

y varias obras de **RADIO** (construcción y reparación), **ELECTRICIDAD** y **MATEMATICAS** aplicadas a la Radio.

MANUAL

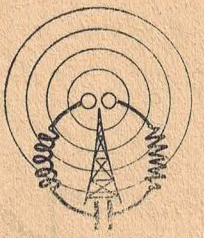
DEL

RADIOEXPERIMENTADOR

POR EL

Ing. AGUSTÍN RIU

Radio Ingeniero (Escuela Superior de Electricidad, París)
Ingeniero Mecánico Electricista (E. S. M. E., París)
Miembro del Instituto de Radio Ingenieros
Diplomado de la S. E. I. (Buenos Aires)
Director del Instituto Radiotécnico



6.ª EDICION

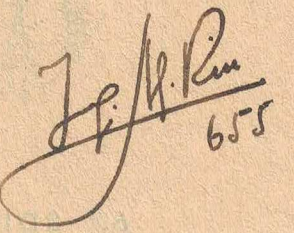
DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA ESPAÑA

Sociedad General Española de Librería

Barbará, 16 Barcelona

Ferraz, 21 Madrid

ES PROPIEDAD DEL AUTOR
Efectuado el depósito que exige la Ley. Todos los derechos reservados, sin excepción. — Copyright by Agustín Riu, 1939.



Todo ejemplar no firmado será de procedencia falsa. Los falsificadores de ediciones o de mi firma, serán perseguidos según me autoriza el Código Penal.

Imprenta de ANGEL ORTEGA, Aribau, 7, Barcelona

Al lector

Las ediciones sucesivas de esta obra se han agotado sin que haya publicado aún el segundo tomo, que prometí al publicar la cuarta edición. Las dolorosas circunstancias que hemos vivido han sido la causa: el segundo tomo estaba escrito, dispuesto a ser entregado a la imprenta, pero, un **registro** (¡!) me despojó de cuanto poseía, perdiéndose el segundo tomo de este libro, así como un TRATADO DE MATEMÁTICAS APLICADAS A LA RADIO.

Reincorporado al ritmo de la vida, vuelvo a trabajar en estas obras, que espero ofrecer a mis estimados lectores tan pronto las haya terminado.



Barcelona, junio de 1939
Año de la Victoria

Letras Simbólicas empleadas en Radio

I Intensidad, amperios.
V Voltaje, tensión.
R Resistencia, ohmios.
W Vatios. Potencia eléctrica.
I_p Intensidad de la corriente de placa (anódica).
I_b id id
V_g Voltaje (o tensión) de rejilla.
E_g Potencial de rejilla.
V_p Tensión (o voltaje) de la placa.
E_b id id id
X_1 Reactancia de una bobina. Se expresa en ohmios.
L Inductancia de una bobina. Se mide en henrios.
C Capacidad de un condensador. Se evalúa en faradios.
X_c Reactancia de un condensador. Se mide en ohmios.
Z Impedancia de un circuito.
g Conductancia mútua de una válvula electrónica.
ρ (ro) Resistencia interna de una válvula electrónica.
μ (mu) Factor de amplificación de una válvula.
λ (lambda) Longitud de onda, en metros.
Σ (sigma) Suma de términos de valor constante.
$\int$ Suma de términos de valor variable.
Δ (delta) Aumento, o incremento, de una cantidad fija.
ω (omega) Representa la frecuencia, f, multiplicada por 6,2832.
π (pí) Relación entre la circunferencia y su diámetro. Vale 3.1416.

PARTE PRIMERA

Electrotecnia

Introducción preliminar

El conjunto de fenómenos que constituyen la Radioelectricidad, son producidos por corrientes eléctricas, de frecuencias más o menos elevadas, que al recorrer un circuito producen diversos efectos: térmicos, magnéticos, etc.

El estudio de estos fenómenos, condiciones en que se producen y utilización de sus efectos, forman el objeto de esta obra.

Los conocimientos que actualmente se poseen sobre la Electricidad son bastante concretos para explicarse satisfactoriamente sus causas. La *teoría electrónica* permite seguir palpablemente la serie de fenómenos que antes se explicaban en una forma vaga y que ahora adquieren una realidad tangible. He adoptado esta teoría por parecerme la más clara para describir los fenómenos eléctricos, y si el lector la asimila podrá entonces explicarse el por qué de muchas causas y efectos que por su misma condición de ser abstractos son más difíciles de interpretar.

CAPITULO PRIMERO

La teoría electrónica

La materia, que es lo que más impresiona nuestros sentidos corporales, fué objeto de un minucioso estudio por los filósofos de todos los tiempos. En la más remota antigüedad ya encontramos que se la considera constituída por partículas de pequeñísimas dimensiones, denominadas *moléculas*. En realidad, la molécula es la última división que puede obtenerse de un cuerpo compuesto, tales como el cloruro de sodio (sal de cocina), el agua, etc., pudiéndose descomponer estos cuerpos compuestos en cada uno

de sus componentes. Es entonces que a cada una de estas partículas, se la denomina *átomo,* palabra derivada del griego que significa indivisible.

El átomo, última división de la materia por los procedimientos conocidos hasta fines del siglo pasado, era considerado como la base de granito sobre la cual descansaban el conjunto de teorías de la Ciencia que, para diferenciarla, podríamos llamar antigua. *La materia es indestructible.* Este principio ha sido profesado por centenares de generaciones: en nuestros días se ha comprobado que no es cierta La materia puede cambiar de estado y los sensacionales descubrimientos de Crookes, Curie, J. J. Thompson, Richardson, etc., etc., han comprobado que la materia se desintegra; la energía potencial que contiene vuelve a manifestarse mediante la acción de un agente exterior, energía que se devuelve al Universo bajo la forma de radiaciones de diversas longitudes de onda. Según esto, podríamos decir que *la materia no es sino energía cristalizada.*

Los trabajos de J. J. Thompson y de Wilson referentes a una descarga eléctrica a diversas presiones permitieron que Rutheford formulase sus conclusiones: un átomo, de cualquier elemento, puede compararse a un sistema solar.

En 1891, el Profesor Stoney propuso el nombre de *electrón* para denominar la cantidad de electrcidad que se encuentra invariablemente ligada al átomo de todo cuerpo simple, como por ejemplo el hidrógeno. Esta invariabilidad de carga eléctrica ha sido comprobada por medio de la electrolisis, de forma que el electrón define la unidad de electricidad natural.

En un principio no se consideraba al electrón como a una partícula que poseyese una carga eléctrica de signo determinado, sino simplemente para designar una unidad de carga, en una forma semejante a la palabra voltio que utilizaremos para definir una tensión o una diferencia de potencial eléctricos.

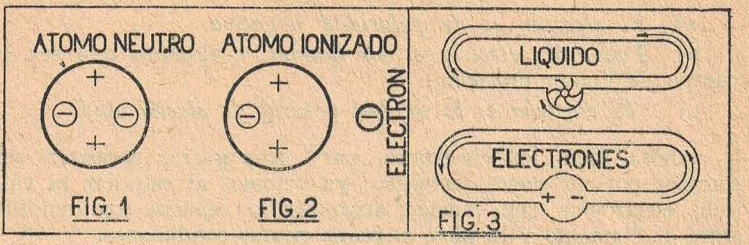
Vamos a describir, en una forma *muy somera,* cómo está constituído un núcleo electrónico, verdadero sistema solar en miniatura: las estructuras de la naturaleza, obedeciendo a una causa única, son las mismas tanto en lo infinitamente grande como en lo infinitamente pequeño.

En un sistema electrónico encontramos en el centro un núcleo de masa considerable con relación a la de los electrones. Alrededor de este núcleo gravitan uno o más electrones (Fig. 1). El núcleo siempre está cargado positivamente y con un número de unidades de carga positiva igual al de los electrones que entran en la composición, de forma que estas dos cargas se equilibran y el átomo parece, aparentemente, descargado: el átomo se halla en el estado neutro.

Teniendo en cuenta que las cargas de signo contrario se atraen, resulta que si los electrones estuviesen en reposo serían atraídos por el núcleo central, neutralizándose; pero, puesto que esto no sucede así es debido a que un movimiento giratorio de los electrones les permite contrarrestar esta acción atractora, gracias a su fuerza centrífuga.

El número de electrones que posee un átomo es distinto para cada materia. Es más, la naturaleza de la materia de un cuerpo viene precisamente determinada por él número de electrones que posee su átomo. Refiriéndonos a un ejemplo bien concreto, las propiedades que diferencian al cobre de la plata son debidas a que el átomo de cobre posee 29 electrones, mientras que el de plata contiene 47 electrones.

La masa del núcleo central es siempre mucho mayor que la del electrón. Es así que se encuentra para el peso del núcleo ató-



mico del helio un valor unas 7.000 veces mayor que el del electrón. Como que el mayor número de electrones que queden haber en una órbita es de 8, resulta que según el número de electrones que tenga un átomo habrán una o más trayectorias electrónicas alrededor del núcleo central; el átomo de oxígeno teniendo 8 electrones, éstos recorrerán una sola órbita.

Las trayectorias seguidas por los electrones, efectuándose en órbitas más alejadas unas que otras del núcleo, resulta que un electrón puede pasar de una órbita a otra, sucediendo que si pasa a una trayectoria más cercana del centro, cierta cantidad de energía es radiada hacia el exterior, bajo la forma de rayos, de diversas longitudes de onda, y en cambio, si pasa a una órbita más alejada del núcleo es que el sistema ha absorbido energía del exterior; esta cantidad siendo la más pequeña que puede obtenerse, se las llama *cantidad natural de energía* y su estudio constituye la *Teoría de los Quanta.*

Teniendo en cuenta cuanto he manifestado, resulta que los electrones pueden existir separados de los átomos. Esto se consigue al aumentar su energía cinética (velocidad) que los hace

pasar de una órbita a otra de más alejada o bien se puede llegar a romper el equilibrio gravitatorio del sistema y el electrón escapa a la influencia atractiva del núcleo central. Como que para conseguir este objeto es necesario comunicar una cierta cantidad de energía al sistema, según hemos dicho anteriormente, tan minúscula que no es posible introducirla por ningún medio material (el conjunto de la órbita es inferior a una millonésima de milímetro), se ha salvado este inconveniente comunicando la energía al sistema electrónico por medio de una *elevación de temperatura* o bien proyectando sobre una superficie sensibilizada cierta *cantidad de luz*. En el primer procedimiento se funda el principio de las *válvulas electrónicas* utilizadas en radio y en el segundo, las *células fotoeléctricas* empleadas en el cine sonoro.

Para proseguir nuestro estudio, nos interesa resumir cuanto se ha explicado hasta ahora, estableciendo que:

a) *El electrón es de polaridad negativa.*

b) *Todos los electrones son iguales,* cualquiera que sea el cuerpo de donde procedan.

c) *El electrón es la unidad natural de electricidad.*

Ahora bien, los electrones, para propagarse, necesitan ser guiados por un cuerpo metálico; ya veremos al estudiar la válvula electrónica que pueden atravesar el espacio comprendido entre el filamento y la plca, si reúne ciertas condiciones.

Cuando por un circuito pasa una cierta cantidad de electrones, éstos producen una serie de fenómenos cuyo estudio hace el objeto de la Ingeniería Eléctrica, dándose el nombre de *electricidad* a la causa de todos estos fenómenos. Es decir, *un flujo de electrones produce lo que llamamos una corriente eléctrica.*

Es fácil comprender que los electrones pasarán con mayor o menor dificultad por los distintos cuerpos, propiedad que se designa diciendo que el cuerpo ofrece más o menos *resistencia eléctrica.*

A los cuerpos por los cuales pasan los electrones muy fácilmente se les llama *conductores* y a los que los dejan circular con extremada dificultad, se les denomina *aisladores*. Los cuerpos aisladores son generalmente de procedencia vegetal. Bien entendido, en una clasificación completa de la resistencia eléctrica de los cuerpos conocidos, es muy difícil establecer dónde los cuerpos dejan de ser conductores para empezar a ser aisladores; esta clasificación es muy arbitraria, aunque en principio, los metales se consideran como conductores, siendo el mejor de todos ellos la plata, luego el cobre y, en fin, con la aleación de ciertos metales se consigue obtener cuerpos compuestos muy útiles por

ofrecer resistencias elevadas, construyendo con ellos reostatos, potenciómetros, divisores de voltajes, etc.

Es necesario que el lector tenga bien presente que en toda la exposición de este libro se verá siempre una fuente productora de electrones libres (polo negativo) y un absorsor de ellos (polo positivo), estando los dos reunidos por medio de conductores metálicos que constituyen el *circuito*. Obsérvese bien que es en este circuito donde intercalaremos los distintos órganos destinados a producir un efecto bien definido: *filamento* para dejar electrones libres, *bobina* para crear un campo magnético, *resistencia* para ocasionar una dificultad al paso de los electrones, etc. El lector que prefiere ideas bien concretas, puede imaginarse a los electrones como a las moléculas que constituyen el agua que circula por una cañería (circuito) destinada a producir distintos efectos: mover una turbina, prensa hidráulica, etc.

Un generador de electrones libres, o lo que es lo mismo, de electricidad, puede funcionar a causa de reacciones químicas o de movimientos mecánicos. En la primera categoría se clasifican las *pilas* y *acumuladores* y en la segunda las *dinamos* y *alternadores*, según sea continua o alterna la corriente producida.

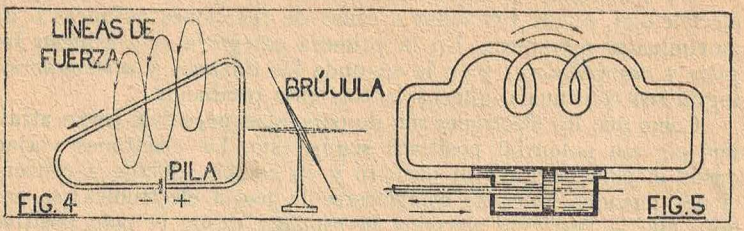
Como que los electrones son de polaridad negativa, serán atraídos por un potencial positivo; según esto, los electrones viajan desde el polo negativo al positivo y en cambio, debido a convenciones tomadas antes de establecerse la teoría electrónica, se admite que la corriente eléctrica se propaga desde el polo positivo al negativo. Al lector no debe producirle ninguna confusión el sentido contrario del movimiento de los electrones y el que se atribuye a la corriente eléctrica: lo esencial es saber que son de sentido contrario y tenerlo bien presente.

Teniendo en cuenta lo anterior, es fácil de comprender que cuanto más positiva sea la batería, más violentamente atraerá a los electrones y por lo tanto, más pasarán en un segundo a través de una sección determinada del conductor que forma el circuito, hecho que se expresa diciendo que la corriente es más *intensa* o que posee mayor *intensidad*. El hecho de hacer el atractor de electrones más o menos positivo, viene a producir un efecto similar a la presión hidráulica que hace circular el agua por una cañería; por similitud, se la llama *presión eléctrica* o *voltaje*: se mide en *voltios*, como veremos más adelante.

Es intuitivo que los electrones, al desplazarse por un conductor, encontrarán una *resistencia* que dependerá de varias causas, siendo las principales la clase del metal y su sección. La resistencia eléctrica aumenta al disminuir la sección, puesto que tienen que pasar los electrones por menos espacios y en cuanto a la influencia de la clase del conductor, puede compararse a las ru-

gosidades más o menos importantes de una cañería de agua, que ocasionan rozamientos con una inevitable pérdida de energía transformada en calor. En el caso de un conductor, cuanto más delgado es más se calienta, pudiendo llegar al estado rojo, incandescente, e incluso al de fusión. En este principio se fundan todas las aplicaciones térmicas de la electricidad (aparatos medicales, radiadores, planchas, etc.), así como la iluminación eléctrica (lámparas incandescentes, arcos voltaicos, etc.). A la rama de la electricidad que se especializa en las aplicaciones caloríficas o térmicas, se la denomina *termoelectricidad.*

Según dijimos en un principio, los electrones entran en la estructura atómica de la materia combinados con cargas positivas, determinando las propiedades de los átomos. Las cargas positivas o negativas que poseen los átomos son el motor que los hace dirigir al polo positivo o negativo a través de un líquido conductor,

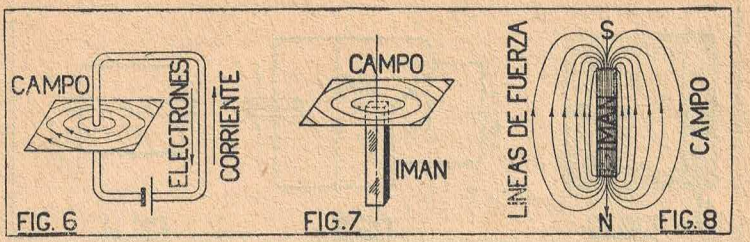


siendo éste el fundamento de la *electrolisis.* Un fenómeno fundado en este principio y familiar a todos, es la carga y descarga de los acumuladores. Al conjunto de aplicaciones de la electricidad fundadas en las acciones químicas de los átomos y moléculas, se le denomina *electroquímica.*

También sabemos que al desplazarse los electrones por un conductor, crean en el espacio circundante un estado especial, que no lo percibimos con nuestros sentidos, pero que lo acusa la aguja magnética, desviándola. Este efecto se acentúa si enrollamos el conductor en forma de bobina, comportándose entonces ésta como un imán. En estas condiciones, observamos que al establecer la corriente, ésta no adquiere su valor máximo instantáneamente, sino al cabo de unos momentos, y que al abrir el circuito no desaparece la corriente bruscamente. A este efecto, se le denomina *inductancia,* y obsérvese que se diferencia en absoluto de la resistencia, pues mientras en ésta la energía electrónica se transforma en calor y por lo tanto se pierde, en cambio la inductancia retiene la energía en forma de campo magnético, restituyéndola luego (figuras 4 y 5).

Al campo magnético se le considera formado por *líneas de fuerza* puestas en evidencia mediante limaduras de hierro. Estas líneas de fuerza van del polo positivo al negativo por el exterior de la bobina o del imán (figs. 6, 7 y 8).

En la figura 6 se indica el sentido contrario que tiene el flujo electrónico y el que se atribuye a la corriente eléctrica. Asímismo, el experimento que acabamos de realizar pone bien netamente en evidencia que un campo magnético puede obtenerse por dos procedimientos: con una corriente eléctrica o bien mediante un trozo de acero, de forma adecuada según el uso a que se destine, que se le comunican las propiedades magnéticas al situarlo en un campo muy intenso, propiedades que luego conserva por tiempo relativamente grande si se toma la precaución de que las líneas de fuerza no se dispersen.



Prosiguiendo la exposición de la teoría electrónica aplicada, supongamos (fig. 9) que mediante un conmutador de dos polos podemos invertir, a voluntad, el sentido de la corriente que circula por un circuito; supondremos además que intercalamos en él dos platos metálicos que casi se toquen. El circuito, desde luego, estará abierto y por lo tanto los electrones no podrán pasar; sin embargo, si se intercala un aparato de medida adecuada (galvanómetro balístico) se comprueba, con su desviación brusca, que pasa una corriente instantánea. Lo que sucede es lo siguiente: al poner una de las dos láminas en contacto con el polo negativo del generador, los electrones fluyen hasta que queda cargada, lo cual se acentúa debido a que la otra placa está en contacto con el polo positivo y *llamar,* por decirlo así, a los electrones de la placa negativa (1). Si invertimos el sentido de la corriente mediante el conmutador, se producirá el fenómeno inverso y habrá un paso de

(1) Según las teorías de Maxwell, los condensadores son recorridos por una corriente a establecerse el circuito. Estas corrientes, llamadas de *desplazamiento,* tienen su valor máximo en el momento de cerrar el circuito, pero disminuyen muy rápidamente, siguiendo una ley exponencial. Todo sucede, pues, como si al principio la resistencia fuese muy pequeña, pero que crece enseguida tan rápidamente que la corriente toma pronto valores que tienden a cero.

electrones de un plato al otro, a través de la batería, y así sucesivamente. Hay un símil hidráulico que supone (fig. 10) que el agua se hace circular alternativamente en dos sentidos poniendo en acción la elasticidad de una membrana que representaría el efecto del espacio comprendido entre los dos platos; esta membrana tiene una cierta rigidez de elasticidad, pasada la cual, si la presión aumenta, la membrana se rompe. En una forma semejante, si la presión eléctrica, o voltaje, de la batería es muy elevado, la placa positiva atrae tan violentamente los electrones localizados en la otra placa que salvan el espacio comprendido entre ellas y se produce un corto circuito.

Al conjunto formado por los dos platos, o láminas metálicas, se le denomina *condensador,* debido a que parece que condense la

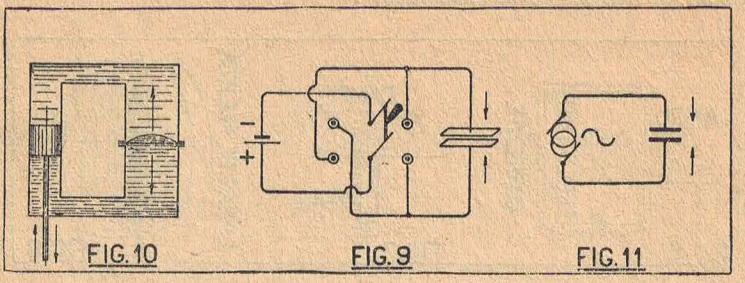


FIG. 10 FIG. 9 FIG. 11

electricidad. Ya se ve que cuanto más grandes sean las placas, más electrones podrán almacenar: a esta cualidad se la llama *capacidad* del condensador.

Fácilmente se comprenderá que en vez de invertir la corriente con conmutador, podemos hacer que ésto se produzca automáticamente, enviando al circuito una corriente que periódicamente cambie de sentido. Esta propiedad la tiene, como veremos en el capítulo siguiente, la *corriente alterna* y por lo tanto ya vemos que un condensador, intercalado en un circuito recorrido por esta clase de corriente, no impide su circulación; en cambio, sí interrumpe una corriente continua figs. 12 y 13, pues desde el momento en que la placa conectada al polo negativo se ha cargado de electrones, no pudiendo absorber más, no circulan por el circuito, y en consecuencia no aparecen la serie de fenómenos a cuya causa llamamos electricidad.

Si consideramos el caso de intercalar un condensador en un circuito recorrido por una corriente alterna, como que la posibilidad de almacenar electrones viene limitada por la *capacidad* del condensador, resulta que cuanto más multipliquemos el número de veces que a cada segundo se invierta el sentido de la corriente,

más facilitaremos su paso: se dice que un condensador deja pasar con tanta mayor facilidad una corriente alterna, cuanto mayor sea su *frecuencia*. Ya hemos visto que cuando esta frecuencia sea igual a cero (corriente continua), la corriente es nula; en cambio, si la frecuencia tiende hacia el infinito, la corriente tenderá también a obtener su valor máximo.

Si en un circuito de corriente alterna se intercala una bobina, produce un efecto opuesto al obtenido con un condensador: la corriente continua pasa con toda facilidad, sufriendo sólo un pequeño retardo al establecerse, luego crece gradualmente y, al interrumpirse el circuito, persiste cierto tiempo. Claro está que si multiplicamos las aberturas y cierres del circuito, o bien, si hacemos pasar una corriente alterna, estos retardos aumentarán a medida que la frecuencia sea mayor, diciéndose que el circuito ofrece

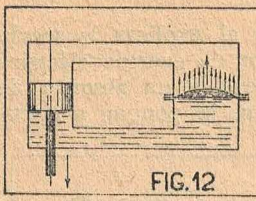


FIG.12

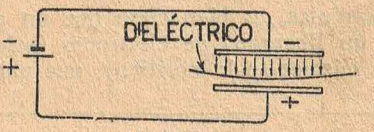


FIG.13

un efecto de reacción contra la corriente llamado *reactancia*, que crece con la frecuencia.

Luego, ya vemos que los efectos de un condensador y de una bobina son de sentido opuesto y por lo tanto cabe preguntarse si para una frecuencia determinada podrían compensarse mutuamente, interviniendo entonces solamente la resistencia del circuito para limitar la intensidad de la corriente. En efecto, esto se consigue en la condición de *resonancia* y las bobinas y condensadores variables utilizados en la radio no tienen otro objeto sino encontrar esta resonancia eléctrica de los componentes del circuito con la frecuencia de la corriente que circula por el mismo.

* * *

He enumerado, en una forma muy elemental y objetiva, los fenómenos eléctricos mediante la teoría electrónica. La he tomado como base de esta obra debido a que permite seguir con los ojos de la inteligencia el proceso interno del funcionamiento de la válvula electrónica. Además, mediante esta teoría, se hace tangible a nuestro entendimiento la causa de los fenómenos y entonces uno puede explicarse por qué un circuito ofrece resistencia, por qué funciona un condensador, cómo es posible que por un espacio

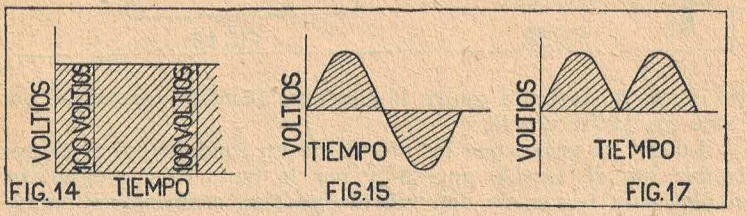
pase una corriente sin haber un conductor metálico, y en fin cómo se producen la serie de causas y efectos que intervienen en la radio, cuyo estudio constituye el objeto de este libro.

Resumiendo: nos interesa empezar por conocer más a fondo los fenómenos que producen los electrones al pasar por *resistencia, inductancias* y *capacidades;* establecer las leyes que los gogiernan y traducirlos en fórmulas sencillas que permitan someter las experiencias al cálculo.

CAPITULO II

Generadores de energía eléctrica

. Teniendo presente cuanto se ha dicho al explicar la teoría electrónica, es bien claro que un generador de energía eléctrica es un liberador de electrones (polo negativo) y un absorsor de los mismos (polo positivo), que obliga a que se pongan a circu-



lar por el circuito exterior tan pronto como unimos estos dos *polos* por medio de dos conductores, intercalando en ellos los aparatos de utilización.

Ahora bien: ya hemos visto que los electrones puede hacérselos circular siempre en el mismo sentido (corriente continua) (Fig. 14) o bien que su sentido se invierta a cada medio período (corriente alterna) (Fig. 15).

Asimismo es posible obtener una corriente que siendo del mismo sentido tome ciertos valores a intervalos de tiempo predeterminados (Fig. 16 A), adquiriendo un valor máximo para luego anularse, o bien variar de valor pasando por máximos y mínimos bien definidos, aunque sin anularse (Fig. 16 B). En fin, es posible que los valores de la tensión, manteniéndose siempre positivos, adquieran valores muy variados que respondan a un fenómeno complicado (Fig. 16 C).

La figura 16 A representa los valores que adquiere el voltaje en un circuito sin inductancia ni capacidad, alimentado con corrinte continua, al interrumpirlo periódicamente.

La figura 16 B muestra las variaciones de intensidad en la placa de una triodo cuando se aplica a la rejilla una tensión alterna. El valor medio, constante, indica la intensidad de la batería de placa, sin excitar la rejilla.

La figura 16 C indica las variaciones de tensión que se obtienen en el secundario de un transformador cuando en el circuito primario se ha intercalado un micrófono ante el cual se producen sonidos.

Los casos A y B se llaman corrientes *pulsatorias,* y el C corriente *microfónica.*

En fin, por medios que veremos al tratar la válvula electrónica, es posible que los dos medios ciclos de la corriente alterna,

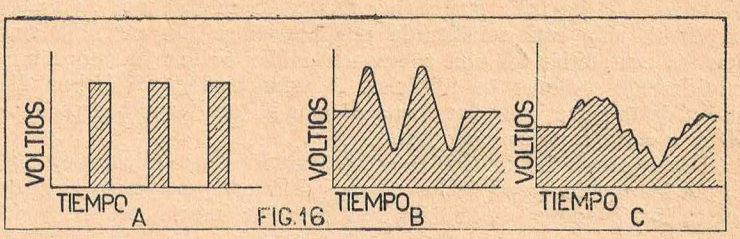


FIG.16

el positivo y el negativo, sean del mismo sentido, esto es, positivos, dándose el nombre de *redresada* o *rectificada* a la corriente así obtenida, fig. 17.

Sin embargo, estos distintos nombres de corriente continua, alterna, pulsatoria, microfónica, redresada, etc., no deben de confundir ni un solo instante al lector. La causa de todas estas corrientes es la misma: son producidas al desplazarse los electrones, dándose distintos nombres con la finalidad de simplificar las explicaciones y fijar mejor las ideas.

La corriente eléctrica produce una serie de fenómenos que ya enumeré en un principio: reacciones químicas, calor, luz, campos magnéticos, etc., es decir, es la energía manifestada bajo diversas formas. Existe la reversibilidad de todos estos fenómenos y así veremos que es posible producir energía eléctrica mediante reacciones químicas (pilas), con el calor (pares termoeléctricos), con la luz (células fotoeléctricas), mediante campos magnéticos (dínamos y alternadores) y otras formas distintas, aun no conocidas. Una vez más es preciso precaver al lector sobre cualquier posible confusión al ver causas aparentemente tan variadas: la

causa única es que un esfuerzo (luz, calor, etc.), desplaza electrones, creando una corriente eléctrica.

Las fuentes de corriente eléctrica más importantes son las producidas mediante reacciones químicas y los efectos de los campos magnéticos; las reacciones químicas crean corrientes continuas, mientras que las producidas mediante campos magnéticos pueden ser alternas o continuas, dándose el nombre de *dínamos* y *alternadores* a las máquinas que las producen.

Generadores de corriente contínua

Químicos. — Así como se ha adoptado la teoría de considerar a la electricidad como un efecto del desplazamiento de los *electrones,* desde hace muchísimo tiempo se admite que la materia ponderable está constituída por partículas tan pequeñísimas que las contenidas en una cabeza de alfiler se expresan por una cantidad de millones de millones. A estas partículas, última división de la materia, se las llama *átomos* si son de un cuerpo simple y *moléculas* si es compuesto.

Los átomos y las moléculas están sometidos a la misma ley que rige a los movimientos de los cuerpos celestes, y así como hay espacios interplanetarios, también hay espacios intermoleculares. No obstante ser ínfimamente pequeños los espacios que separan a los átomos entre sí, son suficientemente grandes para que puedan moverse libremente con movimientos muy semejantes a los de los astros; a su vez un átomo constituye un verdadero sistema solar de extremada pequeñez. Este espacio inter-atómico, como que debe de contener algo, se llama *éter* a la *substancia* (?) contenida, a la cual se le atribuye una serie de propiedades, de las cuales, el propagar la energía vibratoria es una de las principales.

Si calentamos un cuerpo, los movimientos moleculares se activan y sus trayectorias se agrandan: se dice que el cuerpo se *dilata.* Inversamente, si enfriamos un cuerpo, los movimientos moleculares van disminuyendo, llegando un momento en que cesan: esto ocurre a los 273 grados bajo cero, a cuya temperatura se dice que la *materia reposa.*

Los átomos y las moléculas de distintos cuerpos tienen entre sí simpatías y repulsiones que nuestro gran ECHEGARAY llamó *amor orgánico* y la ciencia denomina *afinidad química.* Esta afinidad, concretada al caso presente, provoca un desprendimiento de electrones, disponibles, desde luego, en el polo negativo, listos para ser absorbidos por un polo positivo, causando su desplazamiento una corriente eléctrica. A este productor de electrones libres

se le llama *pila eléctrica,* dándose el nombre de *batería* a la unión de varias pilas.

En el caso de las pilas, un metal se va gastando al ser atacado por un ácido, dejando, a consecuencia de esta reacción química, un cierto número de electrones libres que pueden utilizarse. Cerrando el circuito, estos electrones son atraídos por el polo positivo, al cual tienden a neutralizar con sus cargas negativas; pero observando que cada electrón que pierde el polo negativo ocasiona un desequilibrio, quedando cargado de una unidad positiva, resulta que los electrones atraídos por el polo positivo siguen por el interior de la pila, tendiendo a equilibrar la carga negativa desaparecida (Fig. 18).

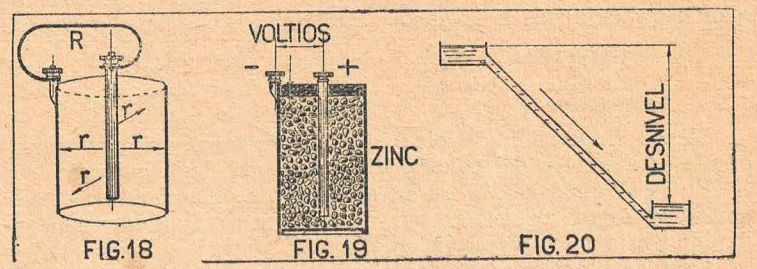


FIG.18 FIG. 19 FIG. 20

Como consecuencia de ésto, habrá un circuito exterior y otro interior (pila, dínamo, etc.), debiéndose de tener en cuenta ambas resistencias al hacer los cálculos.

El elemento de pila más utilizado es el que tiene una lámina de zinc, generalmente de forma cilíndrica y que se utiliza como envoltorio. En el interior hay distintos cuerpos, en la mayoría de los casos bióxido de manganeso y carbón desmenuzado, empapado de un ácido. En el centro hay una varilla de carbón conductor no atacable por el ácido (carbón de retorta) (Fig. 19).

Las pilas que se encuentran en el comercio, acostumbran a ser derivadas de la LECLANCHÉ, con variaciones motivadas por perfeccionamientos o por causas de patentes.

El electrodo negativo es la lámina de zinc y el positivo una varilla de carbón rodeado de un despolarizante que absorbe el desprendimiento de hidrógeno. El despolarizante es bióxido de manganeso mezclado con carbón de cok desmenuzado.

En las pilas con líquido, el zinc se sumerge en agua acidulada junto con un vaso poroso que contiene: en su centro la varilla de carbón y alrededor el carbón de cok y el bióxido de manganeso.

El ácido sulfúrico ataca el zinc, formando sulfato de zinc, quedando hidrógeno libre:

$$\underset{\text{Acido sulfúrico}}{SO_4H_2} + \underset{\text{Cinc}}{Zn} = \underset{\text{Sulfato de cinc}}{SO_4Zn} + \underset{\text{Hidrógeno}}{H_2}$$

El hidrógeno libre, siendo un metal, a pesar de ser un gas, es atraído por el polo positivo y formaría alrededor de la varilla de carbón una película gaseosa que tiene el inconveniente de ser muy resistente al paso de la corriente por el circuito interno de la pila y, por lo tanto, nos limitaría en seguida la intensidad. A este fenómeno se le llama *polarización,* y para evitarlo se emplea el bióxido de manganeso, que siendo rico en oxígeno y teniendo este cuerpo gran afinidad con el hidrógeno, se combinan ambos formando protóxido de hidrógeno (agua), con la siguiente reacción:

$$\underset{\text{Bióxido de manganeso}}{3\,MnO_2} + \underset{\text{Hidrógeno}}{2\,H_2} = \underset{\text{Oxido salino de manganeso}}{Mn_3O_4} + \underset{\text{Agua}}{2\,H_2O}$$

Siendo la función de bióxido de manganeso evitar o suprimir la polarización del polo positivo, se llama *despolarizante.*

En las llamadas *pilas secas,* el líquido se mantiene en estado pastoso mediante un cuerpo que absorba mucho líquido y no tenga influencia en la reacción química.

La fuerza atractora de los electrones que posee el polo positivo se denomina *fuerza electromotriz* y se ha acostumbrado a hacer un símil hidráulico comparándolo a la diferencia de altura entre dos depósitos de agua. Más generalmente acostumbra a emplearse la denominación de *voltaje,* puesto que, como veremos más adelante, se expresa en *voltios* (Fig. 20).

Los generadores químicos de corriente eléctrica sólo se emplean en aquellos casos especiales que representa una ventaja su utilización, ya sea por motivos de sencillez, transportabilidad, etc. Sin embargo, cuando se trata de potencias ya algo importantes, casi siempre la corriente es generada por dínamos y alternadores, por cuyo motivo los describiré a continuación.

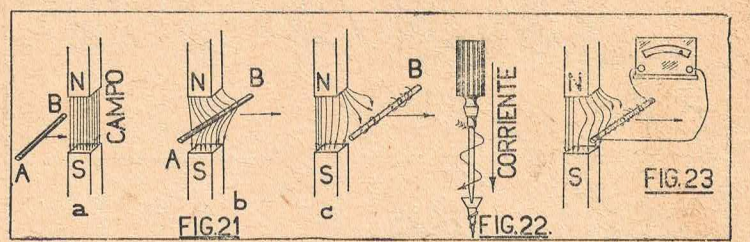
Generación de una fuerza electromotriz (f. e. m.)

Cuando un conductor, al moverse, corta líneas de fuerza de un campo magnético, o un campo magnético móvil es cortado por un conductor estacionario, en éste se produce una f. e. m. llamada de inducción. En la figura 21 (*a*) tenemos los dos polos de un imán, representando las flechas las líneas de fuerza del campo

magnético. Si el conductor A B lo desplazamos de izquierda a derecha, cortará las líneas de fuerza que se dirigen del polo norte (N) al polo sur (S). El hilo, primero desplazará estas líneas, figura 21 (*b*), pero, finalmente, las cortará (*c*).

Se ha observado que cuando un campo magnético es cortado por un conductor genera en éste una corriente eléctrica cuyo sentido es el siguiente: admitiendo al conductor en posición vertical y que pase por el eje de un reloj, si el campo magnético lo envuelve en el sentido que se desplazan las agujas, la corriente circula de arriba abajo, Fig. 22.

Para estudiar las leyes que rigen a esta corriente inducida, conectemos un galvanómetro a los extremos del alambre que corta el campo magnético (Fig. 23). De esta manera la corriente se pone de manifiesto y observaremos que: *a*) la lectura es mayor cuanto más rápido es el movimiento del conductor; *b*) cuan-



to más intenso sea el campo magnético, mayor es la lectura del galvanómetro, y *c*) la lectura es máxima si el conductor se mueve perpendicularmente a la dirección de las líneas de fuerza, no marcando lectura alguna si se mueve en el mismo sentido que ellas.

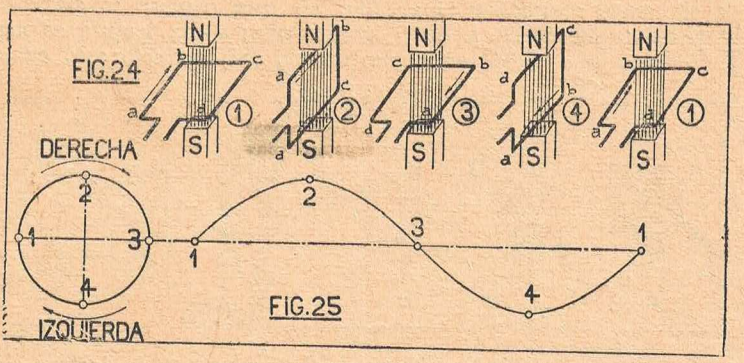
El voltaje inducido depende del número de líneas de fuerza cortadas en un segundo. Si el conductor corta cien millones de líneas de fuerza por segundo, la f. e. m. inducida tiene el valor de un voltio.

Por consiguiente, si se induce un microvoltio o sea la millonésima parte de un voltio (unidad empleada, como veremos, para medir la energía recibida por radio), quiere decir que es producida o equivalente a cortar cien líneas de fuerza en un segundo.

El experimento que acabamos de describir sólo sirve para tener una idea del principio fundamental del fenómeno, pero no tiene valor alguno en la práctica. En las dínamos y los alternadores, el movimiento del conductor es circular en vez de rectilíneo. Supongamos un conductor dispuesto en la forma que indica la figura 24 y que, para simplificar las explicaciones, llamaremos *espira*. Consideremos que la espira pueda girar alrededor del eje,

situado entre los dos polos de un campo magnético; por consiguiente, cortaría dos veces las líneas de fuerza a cada vuelta.

Hagamos dar una revolución completa a la espira y enumeremos lo que va sucediendo (Fig. 25). Al empezar a girar, la porción de espira *a-b* corta el campo magnético en una dirección, mientras que la parte *c-d* corta el campo en la dirección opuesta. Es natural que si la f. e. h. inducida en la porción *a-b* tiene un sentido tal que tiende a enviar la corriente de *a* hacia *b*, el voltaje inducido en *c-d* tenderá a hacer circular la corriente de *c* hacia *d*. Por lo tanto, los voltajes inducidos en las partes *a-b* y *c-d* se suman, dando por resultado que circulará por la espira una corriente eléctrica.



Prosiguiendo la revolución completa de la espira (teniendo presente los resultados obtenidos al haber desplazado el conductor en nuestra primera experiencia), podemos prever fácilmente que la corriente inducida, siendo proporcional a las líneas de fuerza cortadas, será máxima al pasar por los polos y nula cuando el plano de la espira sea perpendicular a las líneas de fuerza del campo, puesto que en este caso las porciones *a-b* y *c-d* no cortarán ninguna línea de fuerza, por moverse en el mismo sentido que la dirección del campo. A partir de este punto, vuelve a crecer la corriente para pasar por otro máximo al atravesar los polos, y así sucesivamente.

Conectemos ahora el galvanómetro en los terminales de la espira y observemos su lectura al hacerle dar una revolución completa (Fig. 26). En la práctica, estos contactos se hacen mediante unas *escobillas* que frotan sobre unos *anillos*. La máquina que estamos estudiando, se denomina *alternador* o generador de corriente alterna.

Es natural que una sola espira induce un voltaje muy redu-

cido, por cuyo motivo los alternadores se construyen con muchas espiras, multiplicándose el voltaje inducido por el número de ellas. Si el lector quiere tener una idea completa de los alternadores, puede adquirirla mediante un magneto de los empleados para el encendido de las bujías de los automóviles, que, en realidad, no son sino alternadores en miniatura.

Los valores de los voltajes inducidos para las relativas posiciones de la espira, se indican en la figura 27, que resumen cuanto he explicado anteriormente.

Cada revolución completa de la espira genera, pues, una f. e. m. que de cero aumenta hasta un máximo positivo, disminuye hastata un máximo negativo para volverse a anular. A esta serie de

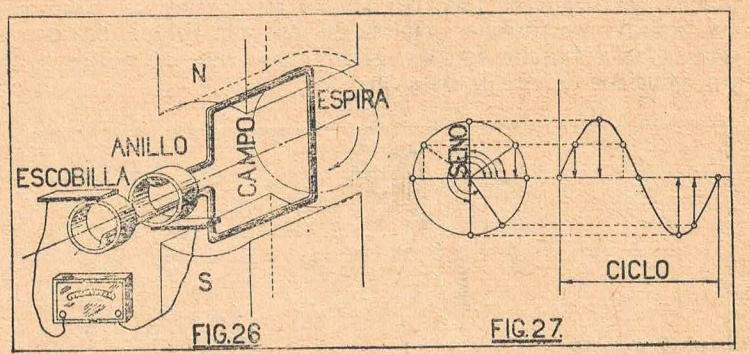


FIG.26 FIG.27

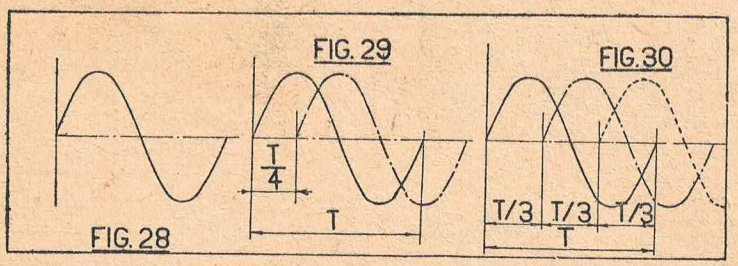
valores se llama *ciclo*. Sin embargo, la palabra *ciclo* se refiere más bien al estudio de las variaciones del voltaje en cada instante, acostumbrándose a denominar *período* cuando sólo se atiende a saber cuántos ciclos se producen por segundo. Así, pues, no se acostumbra a decir una corriente de tantos ciclos, sino de 60 períodos, por ejemplo. Al número de períodos por segundo se le llama *frecuencia*.

A la figura obtenida uniendo los puntos que indican los valores del voltaje inducido al hacer girar la espira una revolución completa (Fig. 27), los americanos acostumbran a llamarla "onda", por motivos de semejanza, diciéndose que una corriente alterna tiene una "onda pura" cuando los valores de los voltajes corresponden, para cada posición de la espira, al seno del ángulo que forma con las líneas de fuerza del campo (1).

(1) El significado de esta y otras expresiones, empleadas en Matemáticas, que el lector no conozca, las entenderá al leer en el final de esta obra el capítulo *Preliminares de Matemáticas*.

A fin de poder indicar en el mismo diagrama los valores positivos y negativos de un ciclo completo, se han dibujado sobre y debajo de una línea de eje, haciendo presente que el llamar positiva o negativa a estas porciones del ciclo no deben de interpretarse en el significado de ausencia de corriente, sino el acuerdo convencional de admitirse que dos corrientes que circulan en sentido contrario, a la una se la llama positiva y a la otra negativa, con la única finalidad de distinguirlas.

La corriente alterna que estamos estudiando se denomina monofásica o de una sola fase (Fig. 28); sin embargo, teniendo en cuenta que la bobina o conjunto de espiras constituído por nuestro alternador están situadas en un mismo plano y, por consiguiente, casi todo el resto del tambor queda libre, se aprovecha este espacio construyendo, en vez de una sola bobina, dos o tres, espaciadas a ángulos iguales, generándose entonces varios voltajes inducidos en vez de uno solo.



Cuando hay dos bobinas, se producen *dos* voltajes inducidos, por cuyo motivo se la llama *bifásica* (Fig. 29); si hay tres bobinas, situadas a ángulos de 120 grados, se generan *tres* voltajes inducidos, llamándose entonces corriente *trifásica* (Fig. 30).

Tenemos de hacer constar que en la radio sólo se utilizan corrientes monofásicas. Las bifásicas y trifásicas se emplean en el transporte de la energía y en motores industriales, etc.

La misma forma de la figura 28, representación gráfica de la tensión o intensidad de una corriente alterna, *monofásica,* demuestra que su valor varía a cada instante, es decir, varía en el tiempo. Para los fines prácticos ha sido necesario encontrar un valor constante, equivalente al variable, que interesa conozca para poder efectuar los cálculos correspndientes.

Se llama *valor medio* de una corriente alterna o de un voltaje a la altura que tendría un rectángulo cuya base fuese igual a medio ciclo, es decir T/2, o sea igual a 3,1416 (pí), y que tuviese la misma superficie que medio ciclo, de corriente alterna.

Como que la superficie de medio sinusoide (es decir, desde el ángulo 0 hasta pí, 3,1416) vale 2 (1), considerando el radio igual a la unidad, resulta que tendremos la siguiente relación:

$$\text{Superficie del arco senoidal, de 0 a } \pi = 2,$$

y como que esta superficie tiene que ser igual a una altura constante Im, o Vm (según que se trate de la intensidad o el voltaje), multiplicada por la base, igual a 3,1416, tendremos:

$$\text{Superficie del rectángulo} = \text{base} \times \text{altura} = 3,1416 \times Im = 2$$

Es decir:

$$3,1416 \times Im = 2$$

de donde:

$$Im = 2/3,1416 = 0,637$$

por lo tanto, el valor medio de la intensidad I o del voltaje V, siendo I y V sus valores máximos, viene determinado por la relación:

$$\text{Valor medio} = \text{Valor máximo} \times 0,637$$

Admitiendo que la corriente alterna corresponde a una variación senoidal.

El *valor eficaz* de una corriente alterna es el valor de una intensidad que produjese el mismo efecto térmico que una corriente continua, es decir, constante.

Si llamamos $Ief.$ a la intensidad eficaz, el cálculo permite establecer que:

$$I^2ef = \tfrac{1}{2} \times I^2max.$$

siendo $Imax.$ el valor máximo de la intensidad de la corriente alterna.

Extrayendo la raíz cuadrada de ambos miembros, tendremos:

$$Ief. = \frac{1}{\sqrt{2}} \times Imax. = \frac{1}{1,41} \times Imax.$$

es decir:

$$Ief = Imax. \times 0,707$$

Esta última fórmula permite, evidentemente, determinar el valor

---

(1) Aunque en mi obra ELECTRICIDAD, que estoy preparando, demostraré matemáticamente todas las fórmulas, indico ahora el proceso de este cálculo para aquellos de mis lectores que han estudiado análisis matemático:

$$\int_0^{\pi} \sin x \, . \, dx = \Big[- \cos x \Big]_0^{\pi} = - \Big[\cos \pi - \cos 0 \Big] = - \Big[(-1) - (+1) \Big] = 2 .$$

máximo de una corriente alterna cuando se conoce su valor eficaz (que es el que marcan los aparatos de medida):

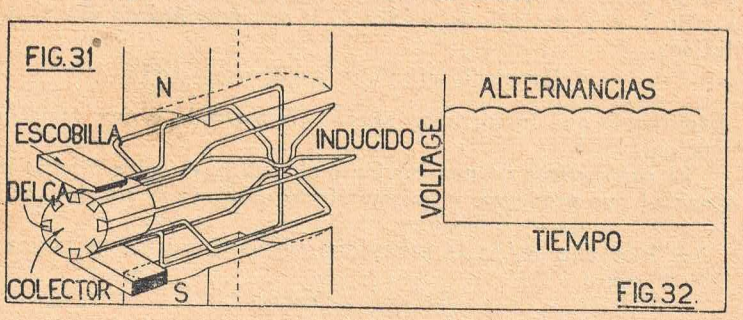
$$I\,max. = 1/0{,}707 \times I\,ef = 1{,}41 \times Ief.$$

Así, por ejemplo, si la distribución de energía eléctrica se efectúa a 125 voltios (eficaces), encontraremos que el valor de su máximo será de $125 \times 1{,}41 = 176{,}25$ voltios.

Con el ejemplo anterior ya demuestro, implícitamente, que la misma ley rige para las intensidades que para los voltajes.

Dínamos. — Se llama así a la máquina que aprovechando el voltaje engendrado al desplazarse un conductor y cortar las líneas de un campo magnético, produce una *corriente continua.*

Luego vemos que si bien se emplea el mismo principio que en el alternador, deben de haber modificaciones, pues en este caso la corriente cambia de sentido (positiva y negativa), al mismo tiempo que varía a cada instante de valor.



En primer lugar, supongamos que en vez de una espira disponemos de diez, a ángulos iguales, y que sus terminales no se conectan a unos anillos como en el caso del alternador, sino a una serie de fracciones de anillo, cuyo conjunto se llama *colector* (fig. 31). Las espiras están conectadas al colector de forma que las escobillas hagan contacto con la espira que en aquel momento se desplaza frente a los polos, cortando el máximo de líneas de fuerza y, por consiguiente, induciendo el máximo voltaje. En su movimiento de rotación, cuando esta espira ya no corta tantas líneas de fuerza, las escobillas pierden el contacto con las porciones de anillo a ellas conectadas (llamadas *delgas*), pasando a hacer contacto con las delgas de la bobina siguiente.

Es fácil de comprender que el voltaje inducido por las diez espiras en una revolución completa del tambor (denominado *inducido*), tendrá la forma de la figura 32; obsérvese que en este caso los voltajes todos son de un mismo sentido, pero su valor no

es constante, sino que, en realidad, son una serie de fracciones de corriente alterna, dándose el nombre de *alternancia* a cada una de estas porciones de ciclo. Es debido a estas alteraciones que la corriente continua del sector produce el característico "hum" tan desagradable en los receptores de radio.

Comprenderemos fácilmente que si en vez de diez espiras ponemos cien, las alteraciones serán menos considerables, y llegando a imaginarnos un caso ideal de infinito número de espiras, como que el valor de las variaciones sería en este caso igual a cero, tendríamos una corriente continua perfecta. Teniendo en cuenta las revoluciones de las dínamos y el número de delgas que tienen los inducidos, resulta que la frecuencia de las alternancias de los sectores acostumbra a ser de 500 a 700 pulsaciones por segundo, empleándose *filtros* para eliminarlas.

El *motor eléctrico* se funda en el fenómeno inverso. Si enviamos corriente a través del devanado del inducido de una dínamo, las espiras formarán un campo magnético y, por lo tanto, el polo norte será atraído por el polo sur, e inversamente; como que las escobillas van poniendo a las distintas bobinas en contacto con la corriente, resultará un movimiento de rotación del inducido, tanto más rápido cuanto más enérgica sea la intensidad del campo magnético y mayor la intensidad que circule por el inducido.

El movimiento del inducido se aprovecha colocando una polea o engranaje en un extremo del eje. Para invertir su movimiento basta, pues, con invertir las conexiones de los polos del campo.

Los acumuladores

En realidad, no son generadores de energía, sino, como su nombre ya lo indica, que la acumulan para poderla utilizar en cualquier momento, o bien para tener voltajes más o menos elevados mediante la forma de agruparlos, como veremos luego.

Un acumulador se compone esencialmente de dos placas de plomo preparadas especialmente para tener una gran superficie y depositarles, previamente, óxidos de plomo (Fig. 32 bis). Las dos placas se encuentran sumergidas en agua, acidulada con ácido sulfúrico, produciéndose las siguientes reacciones:

Carga

Polo + $2\,PbO_2 + O = Pb_2O_5$

" — $SO_4Pb + H_2 = Pb + SO_4H_2$

descarga

Polo + $Pb_2O_5 + H_2 - 2PbO_2 + H_2O$

" — $Pb + O = Pb.O$

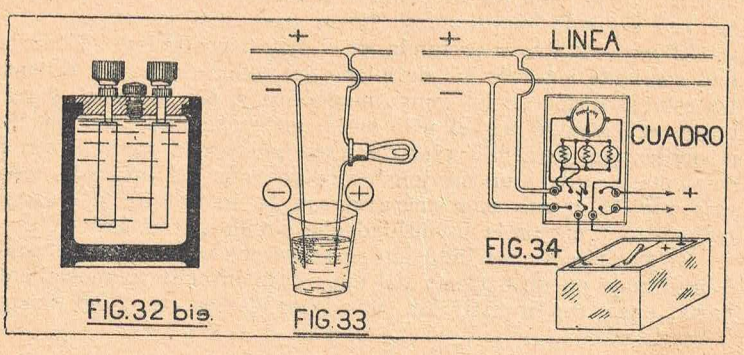
al fin de la descarga, se tiene sobre las placas negativas:

$$PbO + SO_4H_2 = SO_4Pb + H_2O$$

Cuando las placas ya han absorbido el máximo, se empiezan a desprender burbujas que suben a la superficie del líquido. *Es necesario tener mucho cuidado en no aproximar una llama porque puede producir una detonación de los gases que quedan libres.*

Un acumulador, en descarga, produce una tensión de aproximadamente dos voltios, que se mantiene sensiblemente constante.

Durante la descarga se producen reacciones inversas a las anteriormente descritas; cuando el acumulador se haya descargado volveremos a tener las dos placas en el estado inicial.



Debido a la uniformidad de descarga, los acumuladores se emplean bastante para alimentar los filamentos de las válvulas electrónicas. La carga se efectúa con corriente continua o bien con alterna *redresada,* de lo cual nos ocuparemos al estudiar la válvula como rectificadora.

La determinación de la polaridad es necesaria, tanto de la línea como del acumulador; en caso de duda, se puede utilizar la disposición de la figura 33: en un vaso con agua en la que se ha disuelto una cucharadita de sal de cocina, se sumergen los dos conductores y observaremos que se desprenden burbujas abundantemente de uno de los dos hilos: éste es el negativo.

Una vez determinados los polos se conectan a los de la misma polaridad del acumulador, es decir, el negativo de la línea con el negativo del acumulador, y el positivo de la línea con el positivo del acumulador, pudiéndose utilizar, para la carga, la disposición indicada en la figura 34.

Al hacer la prueba de determinar la polaridad, tenga cuidado de no hacer un corto circuito con los dos conductores, que deben

de tener sin aislamiento la porción sumergida. Si hacen contacto se funden los plomos del contador; esto se evita intercalando, en serie, una lámpara del voltaje de la línea.

Para cargar un acumulador es necesario efectuarlo con un régimen que depende de su capacidad en amperios-hora. Cada acumulador ya lo vende su fabricante indicando su régimen de carga. Generalmente es la décima parte para los acumuladores de filamento y la veinteava parte para los de placa.

Por capacidad de un acumulador se entiende el número de amperios que puede proporcionar en un tiempo dado, designándose por este motivo por amperios-hora. Si un acumulador tiene una capacidad de 100 amperios-hora, significa que puede proporcionar 100 amperios en una hora, o bien 10 en 10 horas, o 1 amperio en 100 horas de descarga.

La línea se conecta a un acumulador a través de *resistencias* de forma que dejen pasar los amperios del régimen de carga. Estas resistencias pueden ser lámparas incandescentes de alumbrado, radiadores, resistencias de cartucho, etc., etc. Para determinar su valor se procede de la siguiente forma: se multiplica el voltaje de la línea por el régimen de carga; el producto nos indica la potencia en vatios que debe de absorber la resistencia. Supongamos que la línea tenga una tensión de 150 voltios y necesitamos un régimen de carga de 3 amperios, su producto, 450 vatios, podemos obtenerlo con una lámpara, o grupo de lámparas (conectadas en paralelo), o una estufa, etc., que absorba esta potencia, o sea casi medio kilovatio-hora. Esta absorción de potencia eléctrica debe de ser adecuada para funcionar con el voltaje de la línea. (Ver problema 17).

Los sectores de corriente continua producen la energía con dínamos conectadas en serie y su unión, llamada *neutro,* se conecta a tierra; resulta de esto que en ciertas partes de la ciudad el neutro es el positivo y en otras el negativo, según que sea una o la otra de las dos dínamos la que alimente aquel sector (figura 35). Ahora bien, es necesario conectar la resistencia de carga en el *polo vivo,* y como ya vemos que puede ser el positivo o el negativo, tenemos interés en determinarlo. Procédase de la siguiente manera: se conecta a *tierra* (cañería del agua, por ejemplo) un hilo lo suficientemente largo que alcance hasta el contador, conectando en serie una lámpara de voltaje de la línea, y entonces, con el extremo del hilo libre (desnudo sólo en la punta) se tocan uno a uno los bornes de entrada del sector; el que *no* esté conectado a tierra *encenderá la lámpara,* el otro, no. Si ninguno de los dos conductores la enciende, significa que la línea no tiene conexión alguna con tierra (figura 36).

Al cargar acumuladores es recomendable tener un amperí-

metro intercalado en el circuito que nos indique constantemente el régimen de carga. Como que el sentido de la corriente de descarga es inversa de la de carga, estos amperímetros están graduados en dos direcciones.

No pruebe nunca el voltaje con un voltímetro que no sea de muy elevada resistencia, de lo contrario actúa como un corto-circuito, descargando bruscamente el acumulador y deteriorándolo. Un buen voltímetro tiene una resistencia de unos cien ohmios por voltio como mínimo.

No cierre nunca el circuito con un amperímetro. Sus devanados, teniendo poca resistencia, equivalen a un corto-circuito.

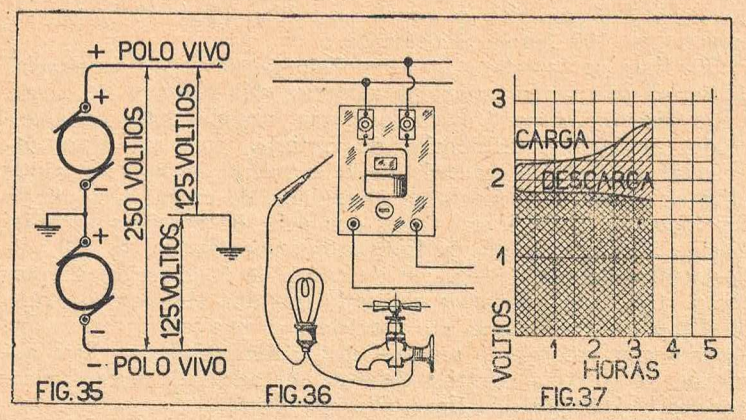


FIG. 35 FIG. 36 FIG. 37

La forma más precisa de saber el estado de carga de un acumulador consiste en saber la densidad del electrolito. Cada fabricante da una hoja con la indicación de las densidades; pero, en principio, cuando la densidad es de 1.300, el acumulador está completamente cargado, a 1.250 carga normal, a 1.200 medio descargado y a 1.150 descargado. Estas cifras sólo son aproximadas, porque depende de la densidad del ácido antes de ponerse en carga el acumulador, debiéndose siempre regir por las que recomienda el fabricante.

Las curvas de carga y descarga se indican en la figura 37. Obsérvese la uniformidad de la descarga.

Finalmente, tenga bien presente que el acumulador es un aparato delicado; debe de tratarse con cuidado, con mucha limpieza, evitando que el ácido corroa las tuercas, etc., y que se forme una película de líquido empapado de polvo, que establece un circuito más o menos resistente entre los bornes. Cuide la

limpieza con un trapo inservible, que después debe tirar, porque el líquido no sólo mancha, sino que quema la ropa.

Cada elemento tiene una diferencia de potencial de dos voltios, pudiéndose conectar, como las pilas, dínamos, etc., en *serie, paralelo* y en montaje *mixto.*

Agrupamiento de los generadorcs eléctricos

Si conectamos varias pilas una a continuación de la otra, como indica la figura 38, el positivo de una con el negativo de la siguiente, etc., se dice que están conectadas en *serie.* En la misma figura indicamos un símil hidráulico: un depósito envía agua

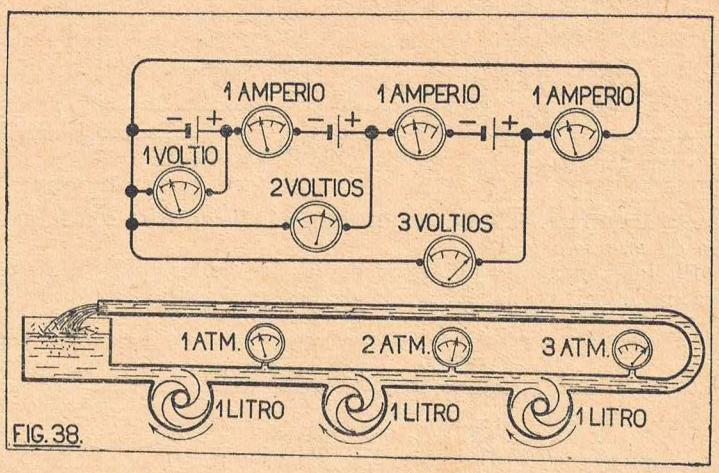


FIG. 38.

a una cañería que tiene varias bombas centrífugas, cada una impele el agua en la misma dirección, resultando que se *aumenta la presión,* pero sólo pasa el agua que puede proporcionar *una sola bomba.*

Los manómetros señalan las presiones en cada porción, así como los voltímetros señalan la presión eléctrica o voltaje.

Luego, *en la conexión en serie el voltaje total es igual al voltaje de un elemento multiplicado por el número de ellos, mientras que la intensidad que proporciona el sistema es la que puede dar un solo elemento.*

En *paralelo* se conectan las baterías uniendo los polos positivos por una parte y los negativos por otra (Fig. 39). El símil

hidráulico hará comprender más claramente lo que sucede en estas circunstancias: cada bomba aspira un litro de agua por segundo y mantiene una presión de una atmósfera; es natural que por el caño de salida pasarán tres litros de agua con la presión

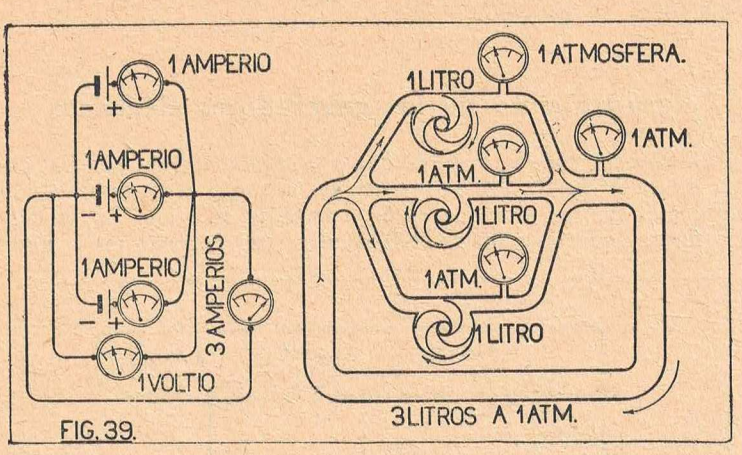


FIG. 39.

de una atmósfera, es decir, tendremos *más litros,* pero con la presión de *una sola bomba.*

En las conexiones eléctricas de las tres pilas, por cada una pasa un amperio y la diferencia de potencial es de $1\,^1/_2$ voltios.

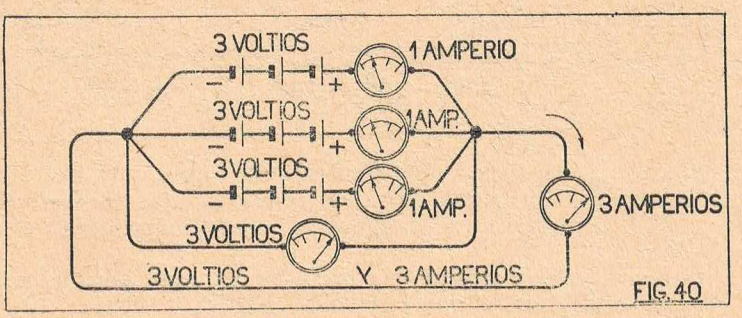


FIG. 40

Luego, *en la conexión de varios elementos en paralelo, tendremos la tensión de un solo elemento y la intensidad que proporciona cada uno multiplicada por el número de ellos.*

La conexión en paralelo aumenta la superficie del elemento y por lo tanto produce el mismo efecto que utilizar una pila de ma-

yor volumen; naturalmente, es capaz de proporcionarnos más amperaje sin polarizarse, pero nos dará la misma diferencia de potencial: 1,5 voltios una pila, 2 voltios un acumulador.

La *conexión mixta* se obtiene conectando en serie varios elementos de cada rama (Fig. 40); obtendremos así la presión necesaria (que será de un solo grupo en serie) con tantas veces el amperaje como el que puede proporcionar un grupo en serie multiplicado por el número de grupos en paralelo.

Esta disposición se emplea mucho para alimentar los filamentos con pilas secas. Acostumbran a necesitar el voltaje de tres pilas en serie ($4\,^1/_2$ voltios); conectando dos o tres grupos en paralelo, se obtiene una intensidad suficiente, sin forzar las pilas, evitando así la polarización ocasionada por el exceso de intensidad que debería de suplir una sola batería en serie.

CAPITULO III

Unidades eléctricas

La energía eléctrica, no afectando a nuestros sentidos, se ha recurrido, para poderla medir, a comparar los efectos magnéticos y caloríficos que produce al recorrer un circuito.

Si miramos el caudal de agua que pasa por un conducto, bien pronto llegaremos a la conclusión de que cuanta mayor sea la pendiente, más agua pasará por segundo, y que cuanto más lisas sean las paredes, más fácilmente se deslizará. También comprenderemos que aquella corriente es capaz de producir tanto más trabajo en las palas de una turbina, cuanto mayor caudal pase por segundo y mayor desnivel exista.

Con estos conocimientos que a todos son familiares, vamos a explicar las unidades eléctricas.

Voltio. — Unidad de fuerza electromotriz y de diferencia de potencial. Es la fuerza que solicita el desplazamiento de los electrones. Puede compararse a la diferencia de nivel hidráulico.

Amperio. — Unidad de intensidad eléctrica. Es el número de electrones que pasan, por segundo, por una sección del circuito. Serán los litros de agua.

Ohmio. — Unidad de resistencia eléctrica. Es la dificultad que ofrece el circuito al desplazamiento de los electrones. En el caso del ejemplo, es la resistencia que ofrecen al agua las paredes del canal.

Vatio. — Unidad de potencia eléctrica. Se le llama también volt-amperio, por ser el producto de ambas unidades. En la tur-

bina ya hemos visto que cuanta mayor presión y mayor cantidad de litros por segundo, mayor cantidad de energía produciría el agua.

Estas unidades tienen múltiplos y submúltiplos a fin de poder expresar las cantidades que se utilizan prácticamente en la radioelectricidad. Para ello se antepone a la unidad correspondiente un prefijo, derivado del griego, con lo cual se aumenta o disminuye el valor.

Los prefijos *aumentativos* son los siguientes:

DECA	que	significa	*diez,*
HECTO	»	»	*cien,*
KILO	»	»	*mil,*
MEGA	»	»	un *millón* de veces.

Los prefijos *diminutivos* son:

DECI	que	significa	*décima* parte,
CENTI	»	»	*centésima* parte,
MILI	»	»	*milésima* parte,
MICRO	»	»	*millonésima* parte.

Ejemplos prácticos. — La potencia eléctrica se acostumbra a comprarla a las compañías de electricidad en *kilovatios,* es decir, por millares de vatios; la frecuencia de las emisoras se evalúa en millones de ciclos, esto es, en *megaciclos;* en la mayoría de las naciones europeas el consumo de la electricidad se factura por las compañías en *hectovatios,* es decir, por centenares de vatios. Asimismo, las débiles intensidades de las corrientes anódicas se evalúan en milésimas de amperio, o sea, en *miliamperios;* las debilísimas intensidades que recorren una antena receptora se evalúan en millonésimas de amperio, esto es, en *microamperios* y, sin extremar los ejemplos, terminaré citando el caso de que la tensión inducida en una antena receptora por el paso de las ondas electromagnéticas se evalúa en *microvoltios,* es decir, en millonésimas de voltio.

Estas unidades son las fundamentales de los cálculos eléctricos; para que el lector asimile bien su significado y relación indicaremos sus fórmulas con una serie de problemas.

Ley de Ohm

Este célebre físico estableció la ley que lleva su nombre, cuyo enunciado puede ser el siguiente: *Cuando por un circuito que tiene la resistencia de un ohmio actúa la presión eléctrica de un voltio, circula por este circuito una intensidad de un amperio.*

Esta ley es la que gobierna a la corriente continua.

Observando que a mayor voltaje habrán más amperios (intensidad) y que cuantos más ohmios (resistencia) menor será la corriente, tendremos:

$$1 \text{ amperio} = \frac{1 \text{ voltio}}{1 \text{ ohmio}} .$$

Para no escribir todo el nombre, se acostumbra a simplificar, indicando por I la intensidad (amperios), por V o U el voltaje (voltios) y R la resistencia (ohmios). En este caso, substituyendo, tendremos:

$$I = \frac{V}{R} , \qquad [1]$$

de donde se deducen estas otras dos fórmulas:

$$V = I \times R \qquad [2] \qquad \text{y} \qquad R = V/I \qquad [3]$$

Resolvamos un ejemplo con cada una de estas tres fórmulas:

PROBLEMA 1. — *Un generador de corriente continua produce una tensión de 300 voltios. Si el circuito está constituído por una resistencia total de 75 ohmios, qué intensidad circulará?*

Solución. — Según la fórmula [1] tendremos:

$$I = V/R = 300/75 = 4 \text{ amperios.}$$

PROBLEMA 2. — *¿Qué voltaje tendremos que aplicar a un circuito si ofreciendo una resistencia de 7 ohmios debe pasar una intensidad de 0'5 amperio?*

Solución. — Mediante la fórmula [2], encontraremos:

$$V = R \times I = 7 \times 0{,}5 = 3{,}5 \text{ voltios.}$$

PROBLEMA 3. — *¿Cuál será, o cuál debe ser, la resistencia de un circuito para que, aplicándole una tensión de 80 voltios, deje pasar una intensidad de 16 miliamperios?*

Solución. — Con la fórmula [3] hallaremos:

$$R = V/I = 80/0{,}016 = 5.000 \text{ ohmios.}$$

Mediante estas tres fórmulas es posible hallar uno de los tres valores cuando se conocen dos, resolviéndose con ellas la mayoría de problemas elementales de la Electrotecnia.

He dicho anteriormente que la unidad de potencia eléctrica es el *vatio*, o *volt-amperio*, por ser igual a los voltios multiplicados por los amperios; luego:

$$\text{Vatios} = \text{Voltios} \times \text{Amperios.}$$

acostumbrándose a abreviar por W los vatios, tendremos:

$$W = I \times V. \qquad [4]$$

PROBLEMA 4. — *Un aparato eléctrico está colocado en un circuito cuya tensión es de 220 voltios y consume 5 amperios. ¿Cuántos vatios gasta?*

Solución:

$$W = 5 \times 220 = 1.100 \text{ vatios.}$$

Teniendo en cuenta que 1.000 vatios equivalen a un kilovatio, la potencia absorbida será de: 1 kilovatio y una décima.

De la fórmuua [4], reemplazando el valor de I hallado en la fórmula [1], tendremos:

$$W = V/R \times V = V^2/R, \qquad [5]$$

es decir, que los vatios pueden también determinarse sabiendo el voltaje y la resistencia del circuito.

PROBLEMA 5. — *Por un circuito que ofrece una resistencia de 4 ohmios se aplica una tensión de 110 voltios. Se quiere saber cuántos vatios consume.*

Solución. — Según la fórmula [5], tendremos:

$$W = 110^2/4 = 12100/4 = 3.025 \text{ vatios.}$$

Luego se consumen 3 kilovatios y 25 vatios.

También podemos deducir de la fórmula [4], reemplazando el valor de V, por el hallado mediante la fórmula [2], que:

$$W = I \times I \times R = I^2 \times R \qquad [6]$$

PROBLEMA 6. — *A través de una resistencia de 25 ohmios circula una corriente de 3 amperios. ¿Cuántos vatios consume el circuito?*

Solución:

$$W = I^2 \times R = 3^2 \times 25 = 9 \times 25 = 225 \text{ vatios.}$$

Las fórmulas [5] y [6], que permiten determinar la potencia eléctrica de un circuito conocido la resistencia y el voltaje o la intensidad, nos darán, cada una de ellas, dos fórmulas más para resolver problemas. Sea la fórmula [5]:

$$W = V^2/R \qquad [5]$$

transponiendo términos, tendremos:

$$R = V^2/W \qquad [7]$$

y también:

$$V = \sqrt{W \times R} \qquad [8]$$

Mediante estas dos fórmulas, podemos averiguar la resistencia que tiene un circuito o bien el voltaje, conociendo la potencia en vatios y su voltaje o su resistencia.

Ahora, mediante la fórmula [6], deduciremos otras dos importantes fórmulas. De:

$$W = I^2 \times R; \qquad [6]$$

transponiendo, tendremos:

$$R = W/I^2 \qquad [9]$$

luego:

$$I = \sqrt{W/R} \qquad [10]$$

Las fórmulas [9] y [10] permiten calcular los ohmios o los amperios, conociendo, respectivamente, los amperios y los ohmios en *ambos casos sabiendo los vatios.*

PROBLEMA 7. — *Una válvula que consume 15 vatios tiene una tensión placa de 300 voltios. Queremos saber la resistencia del circuito filamento-placa.*

Solución. — Aplicando la fórmula [7], tendremos:

$$R = V^2/W = 300^2/15 = 90000/15 = 6.000 \text{ ohmios.}$$

PROBLEMA 8. — ¿Qué *voltaje debe de aplicarse en los bornes de un circuito que ofreciendo una resistencia de 14,4 ohmios consume una potencia de 10 vatios?*

Solución. — De la fórmula [8] deducimos:

$$E = \sqrt{10 \times 14,4} = \sqrt{144} = 12 \text{ voltios.}$$

PROBLEMA 9. — *Se quiere saber qué resistencia tiene un circuito si un amperímetro acusa una intensidad de 7 amperios y se sabe que se gastan 588 vatios.*

Solución. — Según la fórmula [9], tendremos:

$$R = 588/7^2 = 588/49 = 12 \text{ ohmios.}$$

PROBLEMA 10. — *Un circuito consume 324 vatios y tiene una resistencia de 4 ohmios. Queremos saber cuál será la intensidad que circulará por el circuito.*

Solución. — Mediante la fórmula [10], tendremos:

$$I = \sqrt{324/4} = \sqrt{81} = 9 \text{ amperios.}$$

Hemos ilustrado con un ejemplo las diez fórmulas derivadas de la ley de OHM, a fin de que el lector pueda aplicarlas en distintos casos prácticos que pueden presentársele.

Problemas a resolver

PROBLEMA 11. — *Una potenciómetro de 400 ohmios cierra el circuito de un acumulador de 4 voltios. Se quiere saber qué intensidad pasará.*

Aplíquese [1]. 0,01 amperios.

PROBLEMA 12. — *Queremos producir una caída de tensión de 2,9 voltios, consumiendo 0,25 amperios; se quiere saber la resistencia que debemos intercalar.*

Utilícese [3]. 11,6 ohmios.

PROBLEMA 13. — *¿Qué tensión habrá en los bornes de un circuito que acusa un paso de corriente de 2,3 amperios y la resistencia es de 5 ohmios?*

Empléese [2]. 11,5 voltios.

PROBLEMA 14. — *Entre los bornes de un circuito se aplica una tensión de 3 voltios y un miliamperímetro acusa un paso de corriente de 5 miliamperios. ¿Cuál será la resistencia*

Aplíquese [3]. 600 ohmios.

PROBLEMA 15. — *¿Cuántos vatios absorbe una resistencia de 100 ohmios al intercalarse en una línea de 150 voltios?*

Empléese [5]. 225 vatios.

PROBLEMA 16. — *A través del primario de un transformador que ofrece una resistencia de 1.500 ohmios pasa una intensidad de 6 miliamperios. Se quiere saber la potencia eléctrica consumida en este circuito.*

Utilícese [6]. 0'054 vatios.

PROBLEMA 17. — *¿Qué resistencia debemos intercalar para cargar una batería de acumuladores conectada a una línea de 150 voltios si necesitamos absorber una potencia de 500 vatios?*

Aplíquese [7]. 45 ohmios.

PROBLEMA 18. — *Una lámpara que consume 55 vatios absorbe una intensidad de 0,05 amperios. Determinar la resistencia que ofrece.*

Aplíquese [9]. 220 ohmios.

PROBLEMA 19. — *¿Cuál será la intensidad de un circuito que absorbe 450 vatios si su resistencia es de 18 ohmios?*

Empléese [10]. 5 amperios.

PROBLEMA 20. — *¿Qué voltaje debemos de aplicar a los bornes de una resistencia de 60,5 ohmios para que nos absorba una potencia de 200 vatios?*

Aplíquese [8]. 110 voltios.

Generalización de la Ley de Ohm

Hasta ahora hemos considerado un solo generador y una sola resistencia en el circuito, pero en la práctica se encuentran constantemente ejemplos de varias resistencias y dos o más generadores que a veces están conectados en oposición. Resulta de ello que cada generador produce una corriente, superponiéndose unas a otras y dando por resultado una corriente que es igual a la suma algebráica de las diversas corrientes componentes.

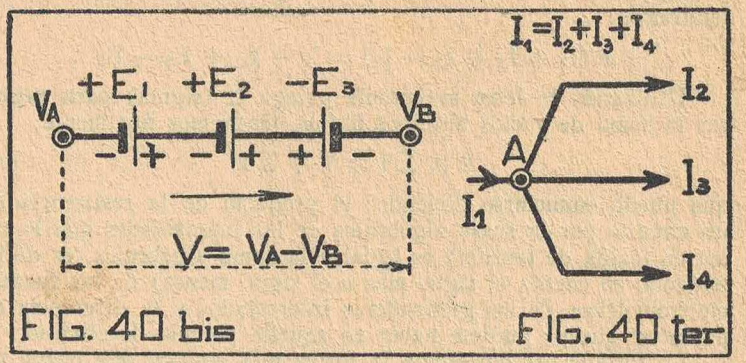


FIG. 40 bis FIG. 40 ter

Consideremos la Fig. 40 bis. Entre los extremos A y B hay intercalados tres generadores de energía los cuales el E_1 y el E_2 tienden a hacer circular la corriente de A hacia B, mientras que el generador E_3 hace circular el fluído de B hacia A y por lo tanto he afectado del signo + a las dos primeras fuerzas electromotrices E_1 y E_2, mientras que la E_3 estará afectada del signo negativo.

Si la resistencia entre A y B tiene un valor R, es evidente que lo recorrerá una corriente:

$$I_1 = (Va - Vb)/R$$

la corriente total I, será:

$$I = (V + E_1 + E_2 - E_3)/R \qquad (a$$

Asimismo, como que cada tensión E_1, E_2 y E_3 produce respectivamente una corriente

$$I_2 = E_1/R; \quad I_3 = E_2/R; \quad -I_4 = -E_3/R,$$

tendremos evidentemente:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 - I_4 \qquad (b$$

fórmula esta última que expresa en lenguaje vulgar dice que la corriente que recorre el circuito es la superposición de las corrientes que han producido los tres generadores; como que una de las corrientes, la I_4, circula en sentido contrario de las otras dos, por esto se ha afectado del signo —.

La fórmula a) puede escribirse bajo la forma:

$$R \times I = V + E_1 + E_2 - E_3,$$

y reemplazando el valor de I por el indicado en la fórmula b), tendremos:

$$R(I_1 + I_2 + I_3 - I_4) = V + E_1 + E_2 - E_3$$

Utilizando la letra mayúscula griega Σ (sigma) para expresar la suma de varios términos finitos, tendremos finalmente:

$$R \times \Sigma I = V + \Sigma E \qquad (c$$

que puede enunciarse diciendo: el producto de la resistencia de un circuito por la suma algebráica de las intensidades que lo recorren (caída de tensión) es igual a la suma algebráica (es decir, teniendo en cuenta el signo más o el signo menos) de las fuerzas electromotrices de los generadores intercalados y la diferencia de potencial que ya pudiese haber en aquella porción de circuito.

La fórmula c) representa la forma más general que puede tener la Ley de Ohm.

Para las aplicaciones prácticas es preciso seguir las normas siguientes: *a*) se establece una dirección arbitraria del sentido de la corriente, lo cual se indica con una flecha; *b*) se marcan los polos + y — de los generadores de corriente, considerándose como tales a los acumuladores en *descarga; c*) aféctese con un signo — a los absorsores de energía: resistencias, bobinas, y acumuladores en *carga.*

Leyes de Kirchhoff

Son una consecuencia de la Ley de Ohm generalizada y tienen mucha utilidad para establecer las ecuaciones de los circuitos cerrados en los que actúan diversas fuerzas electromotrices (generadores) y absorsores de energía.

PRIMERA LEY. — *En toda conexión donde concurren varias corrientes eléctricas, la suma de las intensidades que llegan es igual a la suma de las corrientes que se van.*

En la Fig. 40 ter represento un nudo, o conexión, donde llega la corriente I_1 y se alejan las I_2, I_3 y I_4. Según la primera ley de Kirchhoff escribiremos:

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

Es preciso adoptar también una convención de signos, afectando del signo + a las corrientes que llegan y con el signo — a las que se alejan, que es, en realidad lo que hemos hecho en la fórmula anterior, ya que si agrupamos todos los términos en el primer miembro, tendremos:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

Es decir, que la suma algebráica de las corrientes que pasan por un nudo es igual a cero. Es una consecuencia directa de la hipótesis admitida de que el fluído eléctrico no se puede ni comprimir ni acumular en ninguna porción del circuito y por consiguiente, tanto como llega se va.

SEGUNDA LEY. — *En todo circuito cerrado la suma algebráica de las fuerzas electromotrices es igual al producto de cada resistencia por la suma algebráica de las intensidades que lo recorren.*

En realidad, esta Ley no difiere de la Ley de Ohm generalizada, cuya expresión matemática he indicado en la fórmula c).

CAPITULO IV

Aparatos de medidas eléctricas

Los más importantes son el *voltímetro* y el *amperímetro,* que sirven para medir la tensión y la intensidad de una corriente.

Los aparatos de medición de la energía eléctrica se fundan en utilizar los fenómenos desarrollados por una corriente al pasar por un circuito. Por este motivo los hay que se basan en fenómenos electromagnéticos (que son los más comunes), en efectos térmicos (por las corrientes alternas), los hay que se fundan sabiendo que un amperio desprende tantos centímetros cúbicos de tal o cual gas, en un tiempo determinado; de que cierta intensidad descompone un electrolito depositando tantos gramos de metal en el anodo, etc.

Los basados en los efectos electromagnéticos y los térmicos son los usados en la práctica.

Téngase muy presente que los amperímetros se conectan en serie en el circuito, pasando así toda la intensidad por su bobina.

Voltímetro magnético. — Se compone de un imán en forma de C entre cuyos extremos, que son los polos, se coloca una pequeña bobina que puede moverse en un eje situado perpendicularmente a la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético.

Esta bobina recibe la corriente que debe medirse su voltaje, y como al recorrer el devanado crecerá un campo magnético cuya intensidad dependerá de la que tenga la corriente que por ella circule, resulta que estos dos campos reaccionarán mutuamente, y en consecuencia, la bobina girará sobre su eje debido a la acción del par de fuerzas.

Al eje se fija una aguja que se mueve sobre un sector graduado, dando así, por lectura directa, el valor del voltaje (fig. 41).

Téngase presente que lo que ocasiona la rotación de la bobina es la acción del campo magnético y éste es producido por la *intensidad* de la corriente y no por el voltaje. De forma que nos interesa disminuir tanto como nos sea posible el valor del amperaje, I, y esto lo conseguiremos haciendo una bobina de hilo muy delgado y de gran número de espiras, N; como que el campo es proporcional a $N \times I$, bien que este último valor sea muy pequeño, podemos conseguir que el producto sea lo necesariamente grande, aumentando N cuanto sea preciso.

Deducimos de esto que *los voltímetros no deben conectarse nunca en serie con un circuito.* Un voltímetro se conecta en paralelo con el aparato o parte del circuito entre cuyos extremos se quiera averiguar qué tensión se produce o qué caída de voltaje ocasiona, en cuyo último caso ya sabemos que es igual al producto $R \times I$.

Amperímetro magnético. — Puesto que este aparato tiene por objeto medir la intensidad de la corriente que pasa por un circuito, debemos de conectarlo en serie a fin de que todo el flujo electrónico forme el campo magnético de la bobina colocada entre los polos del imán. Por tanto, la construcción de un voltímetro y de un amperímetro serán en un todo semejantes, sólo que en el primer caso la bobina está formada de muchas espiras de un hilo muy delgado y en el caso del amperímetro estará constituída por un hilo muy grueso y de pocas espiras (fig. 42).

Ahora I será muy grande y por consiguiente debemos hacer que N sea pequeño a fin de tener un valor $N \times I$ adecuado.

Vatímetro. — Este aparato de medida sólo se utiliza en las centrales eléctricas, donde se necesita saber a cada instante la potencia eléctrica que absorbe un sector determinado. Se compone de los devanados de un amperímetro y de un voltímetro, actuando simultáneamente sobre la bobina móvil, de tal forma que la deflexión de la aguja marque, en el cuadrante graduado, el producto de los voltios por los amperios.

Este instrumento no tiene interés para los experimentadores y, por consiguiente, no insistiremos sobre él.

Los aparatos de medida que acabamos de describir funcionan en virtud de la acción que tienen los imanes sobre los campos magnéticos formados por las corrientes y sólo sirven para medir corrientes continuas. Una corriente alterna, como que a cada medio ciclo cambia de sentido, se invierten los polos formados por la bobina del voltímetro o del amperímetro y, por lo tanto, la aguja se ve solicitada en un movimiento de vaivén.

Luego, para medir las corrientes alternas es necesario recurrir a otros efectos que los magnéticos. De ellos el principal es el *térmico*, del cual vamos a ocuparnos a continuación.

Efecto térmico de la corriente eléctrica

Ya hemos explicado al principio, que por el desplazamiento de los electrones en un conductor, la resistencia transforma parte de su energía cinética en calor. Es natural que cuantos más electrones (intensidad) pasen, mayor será el calor producido, efecto que será aumentado cuanto mayor sea la resistencia; es decir, los *amperios* y los *ohmios* intervienen como *factores*.

Las unidades térmicas se expresan por calorías: grande y pequeña. *Caloría grande* es la cantidad de calor que se necesita para que un decímetro cúbico de agua pase de la temperatura de cero grados a un grado centígrado. *Caloría pequeña* es la cantidad de calor necesaria para que un centímetro cúbico de agua aumente la temperatura de cero grados a un grado centígrado. Luego, la caloría grande vale mil calorías pequeñas.

Las calorías grandes desarrolladas en un circuito por el cual pasa una intensidad I y tiene una resistencia R, durante un tiempo de t segundos, se expresa por medio de la fórmula:

$$\text{Cantidad de calor} = \theta = I^2 \times R \times t/4.200 \qquad [16]$$

Pero, I al cuadrado $\times$ R sabemos es igual a los vatios [6]; luego podemos determinar las calorías grandes conociendo los vatios y el tiempo en segundos.

$$\text{Cantidad de calor} = \theta = W \times t/4.200 \qquad [17]$$

Si en vez de las calorías grandes queremos averiguar las calorías pequeñas, se pone por denominador 4,2 en vez de 4.200.

PROBLEMA 21. — *Para mantener una lámpara de incandescencia funcionando se necesitan 55 vatios. ¿Qué cantidad de calor desarrollará en una hora?*

Solución. — Según la fórmula [17], tendremos;

$$\theta = 55 \times 3600/4.200 = 47{,}14 \text{ calorías grandes.}$$

PROBLEMA 22. — *El filamento de un tubo de tres electrodos consume 0,25 amperios. La resistencia del filamento es de 16 ohmios y se tiene funcionando durante dos horas. Se quiere saber cuántas calorías pequeñas se han desarrollado.*

Solución:

$$\theta = 0{,}25^2 \times 16 \times 7200/4{,}2 = 7200/4{,}2 = 1{,}714$$

calorías pequeñas o 1 caloría grande con 714 milésimas.

El calor producido por el paso de una corriente a través de un conductor origina una *dilatación,* propiedad que se aprovecha

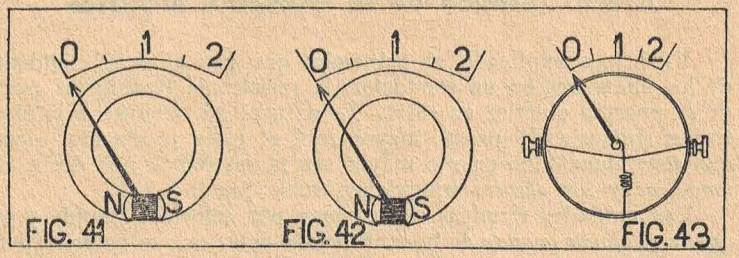


FIG. 41 FIG. 42 FIG. 43

en los aparatos de medida de corriente alterna, pues aunque se invierta el sentido de la corriente, la intensidad tendrá un valor que será igual en cada ciclo. Téngase presente que la intensidad, variando de cero a un máximo y luego a cero, habrá un valor, llamado *intensidad eficaz,* equivalente a la misma intensidad de una corriente continua que desarrollase la misma cantidad de calor en un tiempo dado a través de una cierta resistencia (véase Fig. 28).

En esta propiedad se fundan los amperímetros y voltímetros que miden la corriente alterna: aprovechan la dilatación de un conductor, parcialmente enrollado en una pequeña polea, cuyo eje desplaza una aguja que se mueve sobre un cuadrante graduado (fig. 43).

Otro efecto, muy empleado actualmente, es utilizar la corriente que se produce al calentar dos cuerpos metálicos distintos, puestos en contacto. Se les llama *pares termoeléctricos* y tienen la propiedad de generar una *corriente continua,* cualquiera que sea el procedimiento empleado para elevar la temperatura del par. Por consiguiente, tenemos un medio sencillo de medir una co-

rriente alterna mediante aparatos de corriente continua, convenientemente graduados.

Las dos Compañías más importantes de los Estados Unidos constructoras de aparatos de medida emplean los dos métodos que acabamos de indicar (la Weston y la Jewell).

Los pares termoeléctricos desarrollan sólo intensidades muy pequeñas, aunque se han construído aparatos fundados en este principio para alimentar las placas de las válvulas con una corriente continua pura mediante la corriente alterna del sector. Esto es posible debido a que este circuito. para receptores, requiere una intensidad cifrada en milésimas de amperio.

Ley de Joule

La unidad de trabajo eléctrico es el *joulio*. Se define como el producto de los volt-amperios multiplicados por el tiempo, en segundos. Luego, si hacemos al tiempo igual a un segundo, la intensidad a un amperio y el voltaje un voltio, el joulio se nos transforma en el vatio, lo cual es exacto, puesto que la unidad de potencia es el trabajo efectuado en un segundo.

En mecánica, la unidad de trabajo es el kilográmetro, o sea el producto de los kilogramos por los metros, multiplicado por el tiempo, en segundos. Si hacemos el tiempo igual a uno, tenemos la unidad de potencia, o sea el kilográmetro. Un caballo de vapor es igual a 75 kilográmetros; no debe confundirse con el H. P. inglés (Horse Power), que equivale a 76 kilográmetros.

De aquí resulta que los motores ingleses y americanos consumen más vatios que los construídos en países que rige el sistema métrico decimal. El H. P. equivale a la potencia necesaria para elevar 33,000 libras (inglesas) a un pie de altura (305 milímetros) en un minuto.

El H. P. inglés tiene unos 746 vatios, es decir, 10 vatios más que el caballo de vapor.

Del equivalente mecánico del calor, según el cual se sabe que se necesitan 426 kilográmetros para generar una caloría grande, y teniendo presente que se necesitan, aproximadamente, 4,18 joulios para producir una caloría (pequeña), deducimos:

$$4{,}18/0{,}426 = 9{,}81 \text{ joulios.}$$

Luego: 1 kilográmetro $= 9{,}81$ joulios.

Por consiguiente, como que el caballo de vapor es igual a 75 kilográmetros, tendremos:

$$1 \text{ caballo vapor} = 9{,}81 \times 75 = 736 \text{ vatios} \qquad [18]$$

30 PROBLEMA 23. — *Un motor de corriente continua funciona en una línea de 220 voltios consumiendo 13,4 amperios. Se desea saber su potencia.* H. P.

Solución:

H. P. = vatios/736 = 220× 13,4/736 = 2944/736 = 4 H. P.

31 PROBLEMA 24. — *Si una lámpara de 16 bujías intercalada en una línea de 110 voltios consume 0,5 amperios, se desea saber cuántos vatios gasta.*

Utilizar [4]. Respuesta: 55 vatios.

32 PROBLEMA 25. *¿Cuántos caballos debe tener de potencia una dínamo que alimenta 1,000 lámparas de 16 bujías?*

(1 caballo vapor = 736 vatios). Respuesta: 74,72 H. P.

33 PROBLEMA 26. — *Admitiendo que en el ejemplo del problema 25 la dínamo tiene un rendimiento de 85 por 100, queremos saber qué potencia debe de tener el motor que la acciona.*

(Rend. = Pot. producida, dividida por la Pot. absorbida).
Respuesta: 87,6 caballos.

34 PROBLEMA 27. — *Una dínamo nos da en un circuito una potencia de 1 caballo de vapor (736 vatios.) Queremos saber cuántas lámparas de 16 bujías (55 vatios) podrá alimentar, admitiendo que la dínamo produce una tensión de 110 voltios.*
Respuesta: 13 lámparas.

35 PROBLEMA 28. — *En un circuito que se aplica una tensión de 100 voltios un miliamperímetro intercalado acusa un paso de corriente de 12 miliamperios. ¿Cuántos vatios se gastan?*

Empléese [4]. Respuesta: 1,2 vatios.

36 PROBLEMA 29. — *Sabiendo que 1 vatio equivale a 0,24 calorías pequeñas por segundo, ¿cuál será el calor desarrollado en un segundo por 1 caballo de vapor, si admitimos que toda esta potencia se transforma en calor?*

Respuesta: 176,64 calorías peq.

PARTE SEGUNDA

Resistencia, inductancia y capacidad

CAPITULO PRIMERO

Resistencia

En la primera parte hemos estudiado la resistencia en una forma sencilla, mediante la ley de OHM. Sin embargo, el radioexperimentador se encuentra con cuestiones mucho más complicadas que las allí expuestas, de las cuales, por lo que se refiere a la resistencia, nos ocuparemos en este capítulo.

La expresión:

$$R = E/I \qquad [3]$$

es incompleta en muchos sentidos, puesto que no tiene en cuenta muchos fenómenos presentes en un circuito.

En cambio, la fórmula de JOULE:

$$\text{Calor producido} = I^2 \times R \times t,$$

es en realidad, la idea más acabada que podemos tener del concepto de *resistencia eléctrica*.

Volveremos más adelante sobre este asunto, ocupándonos ahora del fenómeno de la *caída de voltaje* debida a la resistencia de un circuito.

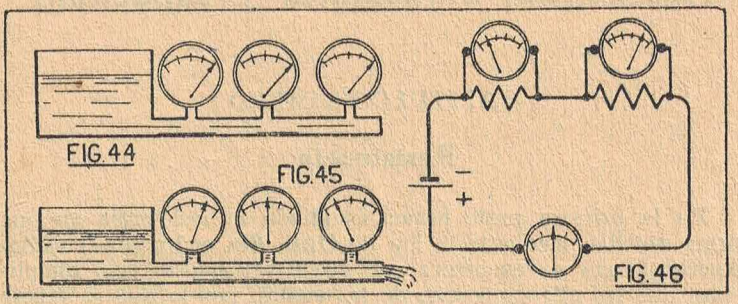
Si tenemos un depósito de agua (fig. 45) y en su parte inferior una tubería con manómetros para medir la presión colocados en distintos puntos, observaremos los fenómenos siguientes:

1.º Estando cerrado el extremo del tubo, todos los manómetros marcarán la misma presión; 2.º Tan pronto se abre el orificio, los distintos manómetros no marcarán igualmente, disminuyendo la presión a medida que se alejan del depósito.

El lector ya habrá comprendido que esto es causado por la *resistencia* que ofrece el conducto al paso del agua, dándose el nombre de caída de *potencial hidráulico* a la diferencia de presión que hay entre dos manómetros.

De la misma forma, un generador de corriente eléctrica tiene en sus bornes una cierta *diferencia de potencial,* que disminuirá cuando se cierre el circuito.

Supongamos un circuito tal como el indicado en la figura 46, compuesto de dos resistencia de 2 y 10 ohmios, respectivamente. En los bornes de cada resistencia hemos conectado un voltímetro, de la misma forma que indicamos un manómetro en el ejemplo hidráulico. Un amperímetro nos indicará que si aplicamos 6 vol-



tios por medio de la batería, la *intensidad* que circulará por cualquier punto del circuito será de:

$$I = E/R = 6/12 = 0{,}5 \text{ amperios.}$$

La caída de tensión entre los bornes de la resistencia de 2 ohmios, será, pues, de:

$$E = I \times R = 0{,}5 \times 2 = 1 \text{ voltio,}$$

y en la resistencia de 10 ohmios será de:

$$0{,}5 \times 10 = 5 \text{ voltios.}$$

Podemos, pues, a voluntad, calcular y producir una caída de tensión entre dos puntos de un circuito. Esto tiene una gran importancia, puesto que los aparatos receptores modernos, alimentados directamente con la corriente de la red, utilizan resistencias para obtener los distintos voltajes necesarios a los filamentos, rejillas, placas, etc., etc.

Es conveniente que el lector comprenda bien que a pesar de haberse provocado una caída de tensión entre distintos puntos de un circuito, el generador sigue manteniendo el mismo voltaje habiéndose gastado una parte de la presión eléctrica venciendo la resistencia del circuito, de la misma manera que la resistencia del tubo hacía disminuir la presión hidráulica de nuestro ejemplo anterior, a pesar de que el depósito mantenía constante la presión.

PROBLEMA 30. — Para alimentar el circuito del filamento de un receptor de varias válvulas se dispone de una batería de 6 voltios. Se ha encontrado que la válvula amplificadora de radiofrecuencia que mejor funciona con este circuito necesita 2 voltios. Queremos calcular el valor de la resistencia adicional sabiendo que el filamento consume 0,1 amperios.

Solución. — El valor de la resistencia adicional, debiendo de producir una caída de tensión igual a 4 voltios, será de:

$$R = E/I = 4/0{,}1 = 40 \text{ ohmios.}$$

Fórmula de Peuillet. — La ley de OHM indica la relación entre la resistencia, la intensidad y el voltaje de un circuito de corriente continua, sin dar norma alguna para determinar R, que, como dijimos en momento oportuno, depende de la calidad del conductor, así como de su diámetro y longitud.

El físico PEUILLET, después de realizar numerosas experiencias, determinó la forma de encontrar la resistencia de un conductor mediante el cálculo.

Teniendo en cuenta que cuanto más largo sea un hilo metálico más resistencia eléctrica ofrecerá, e inversamente, cuanto mayor diámetro, más fácilmente pasarán los electrones, PEUILLET estableció esta fórmula en la que interviene un coeficiente:

$$\text{Resistencia} = \text{Coeficiente} \times \text{Longitud/Sección} \qquad [19]$$

Este coeficiente, llamado de *resistividad,* tiene un valor distinto para cada cuerpo, indicándose los más utilizados en la Tabla 1. La longitud se expresa en metros y la *sección* en milímetros cuadrados.

TABLA I

COEFICIENTES DE RESISTIVIDAD

(a 0° centígrados)

CUERPO	ρ
Plata	0,0156
Cobre	0,0160
Aluminio	0,0320
Platino	0,0820
Hierro	0,0900
Estaño	0,0960
Plomo	0,1900
Oro	0,2000
Plata alemana	0,3000
Carbón de retorta	700 —
» filamento de las lámparas incandescentes	400 —

El coeficiente de resistividad se acostumbra a representar por medio de la letra griega ρ (ro), la longitud por l y la sección por s. Reemplazando estas letras en la fórmula (19), tendremos:

$$R = \rho \times l/s \qquad [19]$$

de donde deducimos estas otras fórmulas:

$$l = R \times s/\rho \qquad [20]$$

$$s = \rho \times l/R \qquad [21]$$

Y finalmente:

$$\rho = R \times S/l \qquad [22]$$

(La resistencia aumenta (aproximadamente) en un 1 por 100 de estos valores por cada $2\frac{1}{2}°$ C. en los metales puros).

Con estas fórmulas podremos determinar la resistencia, la longitud de un conductor, o bien su sección o clase de metal. Resolvamos un ejemplo con cada una de ellas.

PROBLEMA 31. — *El secundario de un transformador de baja frecuencia tiene 400 metros de hilo de cobre, de una décima de milímetro cuadrado de sección. Queremos saber cuántos ohmios ofrece de resistencia.*

Solución. — Según la fórmula [19], tendremos:

$$R = 0{,}016 \times 400/0{,}1 = 6{,}4/0{,}1 = 64 \text{ ohmios.}$$

PROBLEMA 32. — *Se quiere construir un potenciómetro de 600 ohmios de resistencia, empleándose plata alemana, de 0,05 milímetros cuadrados de sección. ¿Cuántos metros de alambre hay que emplear?*

Solución. — De la fórmula [20] deducimos:

$$l = 600 \times 0{,}05/0{,}3 = 30/0{,}3 = 100 \text{ metros.}$$

PROBLEMA 33. — *Un conductor de cobre ofrece una resistencia de 8 ohmios. Midiendo 50 metros de longitud, se quiere saber cuál es su sección.*

Solución. — De la fórmula [21], tendremos:

$$s = 0{,}016 \times 50/8 = 0{,}8/8 = 0{,}1 \text{ mm.}^2$$

PROBLEMA 34. — *Mediante un puente de* WHEATSTONE *se ha determinado que la resistencia de un conductor es de 15 ohmios. Sabiendo que tiene una sección de 2 milímetros cuadrados y una longitud de 100 metros, se desea saber su coeficiente de resistividad; por consiguiente, determinar el material del conductor.*

Solución. — Mediante la fórmula [22], hallaremos:

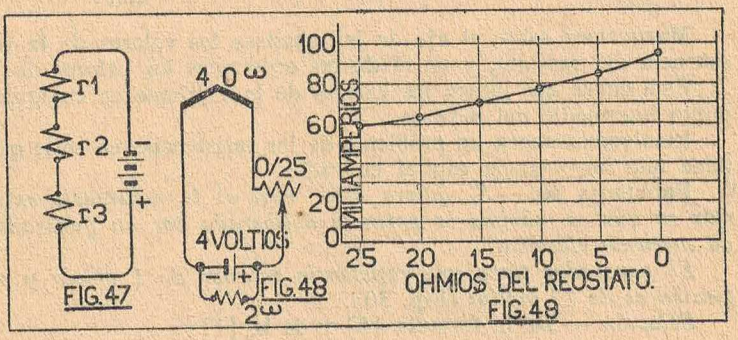
$$\rho = 2 \times 15/100 = 30/100 = 0{,}3.$$

La plata alemana es el cuerpo que tiene este coeficiente de resistividad y por lo tanto, es probable que éste sea el material.

Estos cuatro problemas son, en realidad, complementarios de la ley de OHM, por lo que respecta al circuito, si bien ya sabemos que es posible determinar R mediante mediciones eléctricas. También es posible determinar R con el puente de WHEATSTONE, que describiré al explicar las resistencias en paralelo.

Resistencias en serie y en paralelo

Los circuitos se disponen de distintas formas, ya sea colocando todas las resistencias una a continuación de la otra, en cuyo caso están conectadas en *serie,* bifurcándose entre dos puntos, diciéndose entonces que están conectadas en *paralelo.* Las conexiones pueden también ser una combinación de ambos casos: es la conexión *mixta.*



Resistencias en serie. — La figura 47 representa varias resistencias conectadas en serie. El valor de la resistencia total es igual a la suma de todas ellas; luego:

$$R = r_1 + r_2 + r_3. \qquad [47]$$

Si todas las resistencias son iguales, se multiplicará la resistencia de una por el número que haya de conectadas.

Para varias resistencias en serie, téngase bien presente la siguiente regla: *La intensidad es la misma en todas las resistencias, mientras que el voltaje total de la batería se subdivide entre las varias partes del circuito.*

42 PROBLEMA 35. — *El filamento de una válvula ofrece una resistencia de 40 ohmios; el reostato puede variar de 0 a 25 ohmios, y la resistencia interior de la batería de 4 voltios es de 2 ohmios.*

Calcular la intensidad que circulará por el circuito al variar al reostato a los 25, 20, 15, 10,5 y 0 ohmios. Trácese la curva que exprese estos valores y deducir la influencia del reostato en un aparato de radio.

Solución. — Según la figura 48 vemos que todas las resistencias están en serie y por lo tanto, la resistencia total será igual a la suma de todas ellas. No obstante, la resistencia del reostato tendrá seis valores distintos: luego tendremos:

Valores del reostato	Resistencia total Filamentos y Batería	I = E/R
0	42	0,095
5	47	0,085
10	52	0,077
15	57	0,070
20	62	0,063
25	67	0,059

Marquemos sobre el eje de las abscisas los valores de la resistencia del reostato, y en el de las ordenadas los valores de I.

Esta curva nos indica los valores de la corriente en cualquier punto intermedio del reostato.

Resolvamos ahora un problema de las resistencias en serie que tiene una importancia capital en radio.

43 PROBLEMA 36. — *Se quiere saber cuál es la resistencia exterior en que es máxima la potencia deliberada por un generador de corriente eléctrica.*

El generador tiene una resistencia interior de 1 ohmio y su tensión es de 10 voltios (Fig. 50).

Solución. — De la fórmula [6] y de la [1]:

$$W = I^2 \times R, \qquad I = E/R,$$

deduciremos:

$$W = [E/(R + r)]^2 \times R,$$

reemplazando:

$$W = 10^2/(1 + R)^2 \times R;$$

luego:

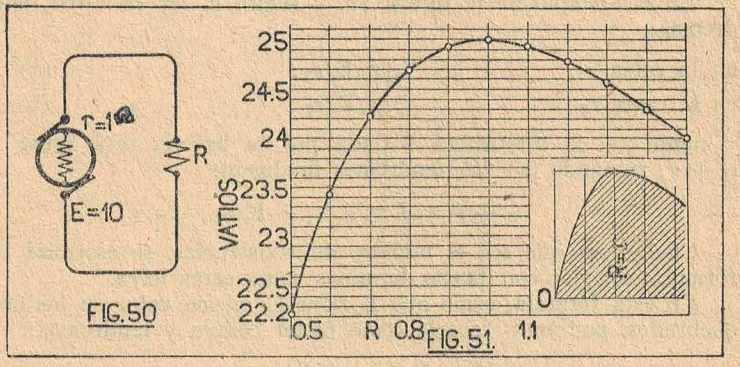
$$W = 100\ R/(1 + R)^2 = 100\ .\ R/(1 + R)^2$$

Observemos que 100, o sea el cuadrado del voltaje, es una *constante* que no altera el valor de W al variar R, lo cual significa que cualquiera que sea el voltaje del generador la ley que vamos a establecer es general.

Hagamos ahora una tabla atribuyendo a la resistencia exterior R distintos valores, desde 0,5 a 1,5 ohmio, variando su valor de décima en décima de ohmio; tendremos:

R Ohmios	$r + R$ Ohmios	$(r + R)^2$ Ohmios	$W = 100R/(r + R)^2$ Watios
0,5	1,5	2,25	22,22
0,6	1,6	2,56	23,43
0,7	1,7	2,89	24,22
0,8	1,8	3,24	24,69
0,9	1,9	3,61	24,93
1,0	**2,0**	**4,0**	**25,00**
1,1	2,1	4,41	24,94
1,2	2,2	4,84	24,79
1,3	2,3	5,29	24,57
1,4	2,4	5,76	24,30
1,5	2,5	6,25	24,00

Mediante los valores obtenidos en la tabla anterior tracemos ahora una curva en la cual las abscisas representan los valores de R y las ordenadas los vatios absorbidos por el circuito.



Vemos que: *la potencia deliberada es máxima cuando la resistencia del circuito exterior es igual a la del circuito generador (pila, dínamo, válvula electrónica, etc.).*

Esta ley es importantísima y la recordaremos en momento oportuno, siendo ésta la causa del *por qué* de muchos fenómenos que el experimentador no se explica, como, por ejemplo: un transformador relación 1/10 dió menos rendimiento que otro 1/3 en un amplificador de baja frecuencia ¿Por qué? En un transfor-

mador, como veremos al tratar de la INDUCTANCIA, la relación de transformación es el cociente que se obtiene al dividir el número de espiras del secundario por las del primario. Con relaciones elevadas el primario tiene pocas espiras (a menos de hacer un secundario enorme) y, por lo tanto, a una frecuencia determinada ofrece poca *reactancia*, menor que la resistencia filamento-placa de la válvula (que acostumbra a ser de varios miles de ohmios), y por lo tanto se nos ofrece un caso análogo al que hemos analizado anteriormente. Luego, *para que una válvula dé su máximo de potencia, el circuito placa debe tener una resistencia al menos igual a la interna de la válvula.* Aplicaremos este principio al tratar las válvulas.

Resistencias en paralelo. — Cuando se unen varios conductores bifurcándose en dos puntos (Fig. 52), se dice que están conectados en paralelo.

Para las resistencias en paralelo, téngase bien presente la regla siguiente: *El voltaje es el mismo para todas las resistencias, mientras que la intensidad total se divide en las diferentes ramas.* Esta regla es pues *opuesta* a la de las resistencias en serie, y si el lector las graba bien en su memoria, no tendrá nunca dificultades al plantear estos poblemas.

En el ejemplo de la figura 52, y según la ley de OHM, tendremos:

en la rama r_1, $\quad i_1 = E/r_1;$ $\quad (a)$

en la rama r_2 $\quad i' = E/r_2$ $\quad (b)$

y como que la intensidad I dada por la batería será igual a $i_1 + i'$, sumando (a) (b) tendremos finalmente:

$$i_1 + i' = I = E/r_1 + E/r_2.$$

Cualquiera que sea el número de resistencias, se escribirá la fórmula anterior con tantos términos como erres haya.

En esta fórmula, como que E tiene el mismo valor en los dos quebrados, podremos sacarlo como factor común y tendremos:

$$I = E\,(1/r_1 + 1/r_2).$$

Pasando E al primer miembro, tendremos:

$$I/E = 1/r_1 + 1/r_2.$$

Pero I/E es recíproco de E/I [3], que nos da el valor de R; luego I/E es el recíproco de R, es decir 1/R; por lo tanto, substituyendo los valores tendremos:

$$I/E = 1/R = 1/r_1 + 1/r_2;$$

Si suponemos un circuito compuesto de 3 o más resistencias en paralelo, $r1$, $r2$ y $r3$, etc. generalizaremos la fórmula de la siguiente forma:

$$1/R = 1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3 + \ldots + 1/r_n \qquad [24]$$

lo cual, en lenguaje corriente, se expresa diciendo que *el recíproco de la resistencia total es igual a la suma de los recíprocos de la resistencias parciales.*

PROBLEMA 37. — *Una corriente de 42 amperios fluye por tres resistencias en paralelo de 5 ohmios, 10 ohmios y 20 ohmios, respectivamente. Determinar la corriente que circula por cada una de las tres ramas.*

Solución. — La resistencia total R será [24]:

$$1/R = 1/5 + 1/10 + 1/20.$$

El mínimo común denominador es 20; multiplicando *todos* los numeradores por 20, no alteraremos el valor de la ecuación y tendremos:

$$20/R = 20/5 + 20/10 + 20/20;$$

efectuando las divisiones indicadas, tendremos:

$$20/R = 4 + 2 + 1;$$

luego:

$$20/R = 7;$$

de donde:

$$R = 20/7 = 2{,}86 \text{ ohmios, aprox.}$$

Podemos ahora averiguar la caída de tensión producida por las tres resistencias; será [2]:

$$E = I \times R = 42 \times 2{,}86 = 120 \text{ voltios}$$

Asimismo podemos determinar la intensidad que circulará por cada una de las tres resistencias mediante la ley de OHM [1]:

$120/5 = 24$ amperios en la rama de 5 ohmios
$120/10 = 12$ » » 10 »
$120/20 = 6$ » » 20 »

y la suma de estas intensidades (2.ª ley de Kirchhoff) es igual a 42 amperios.

Cuando sólo hay dos resistencias en paralelo, como en el ejemplo de la figura 52, el desarrollo de la fórmula general (24) nos da por resultado:

$$R = r_1 \times r_2/r_1 + r_2 \qquad [25]$$

Es decir, el valor de la resistencia resultante es igual al producto de las dos componentes, dividido por su suma.

PROBLEMA 38. — *Un filamento de 60 ohmios de resistencia está conectado en paralelo con un potenciómetro de 200 ohmios. Se quiere saber qué resistencia ofrece a la batería la combinación de estas dos resistencias.*

Solución.

$$R = 60 \times 200/200 + 60 = 12600/260 = 46{,}17 \text{ ohmios aprox.}$$

Luego vemos claramente, que *cuando hay dos o más resistencias conectadas en paralelo, la resistencia total es siempre menor que la más pequeña de las resistencias que intervienen en el sistema.*

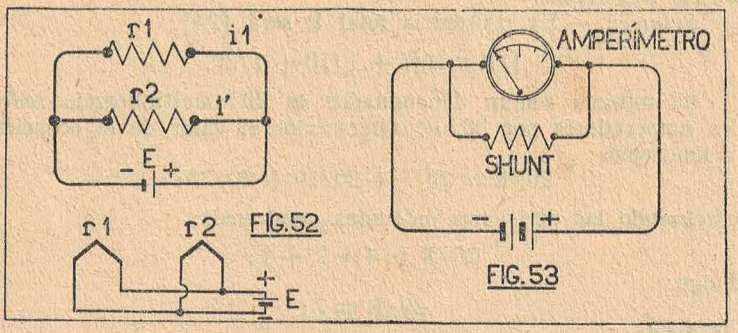


FIG. 52

FIG. 53

La fórmula [25], que hemos deducido para el caso de haber solamente dos conductores en paralelo, tiene una gran utilidad en muchos casos. Veamos una aplicación industrial: la figura 52 y los problemas que acabamos de resolver nos han demostrado que por la rama $r1$ circula una corriente $i1$, y por la $r2$ pasa otra corriente i'. A un circuito en estas condiciones se le da el nombre de *shunt* (paso lateral, etc.). Ya hemos visto que el voltaje E es el mismo en los bornes de las dos ramas y, por lo tanto, sabemos que:

$$i_1 = E/r_1$$

e:

$$i' = E/r_2.$$

Dividamos la primera ecuación por la segunda y tendremos:

$$i_1/i' = \frac{E/r_1}{E/r_2}.$$

El miembro de la derecha es un quebrado dividido por otro quebrado, y como que para dividir dos quebrados se multiplican en cruz, tendremos:

$$(E/r_1)/(E/r_2) = r_2 \times E/r_1 \times E = r_2/r_1.$$

porque E, como que multiplica y divide al mismo tiempo la fracción, queda eliminado; luego, tenemos finalmente:

$$i_1/i' = r_2/r_1 \qquad [26]$$

Por consiguiente, *las corrientes que circulan por las dos ramas son inversamente proporcionales a las resistencias de sus conductores respectivos.* Este enunciado se conoce con el nombre de la *ley del shunt,* que interpretada en su forma más sencilla, significa que *por la rama de menor resistencia es por la que circula mayor intensidad, e inversamente, por la de mayor resistencia es por la que pasa menos corriente.*

La ley del shunt se emplea a cada instante en los cálculos de la Electrotecnia, y para que el lector tenga una idea muy clara de ella, daremos un ejemplo.

PROBLEMA 39. — *Tenemos que medir una corriente de 100 amperios y disponemos de un amperímetro cuya escala es de 1 amperio ¿Cómo medirla?*

Solución. — Nuestro amperímetro puede resistir una intensidad de 1 amperio; luego podemos dividir la corriente de 100 amperios en dos ramas: una será el amperímetro y la otra el shunt (Fig. 53).

Obtendremos:

$$\frac{\text{intensidad amperímetro}}{\text{intensidad shunt}} = \frac{\text{resistencia shunt}}{\text{resist. amperímetro}};$$

reemplazando valores tenemos:

$$1/99 = \text{resistencia shunt}/\text{resistencia amperímetro}$$

luego pasará 1 amperio por el amperímetro y 99 por el shunt; transponiendo términos, tenemos:

$$\text{shunt} = 1/99 \times \text{resistencia amperímetro};$$

por lo tanto, el shunt debe de tener una resistencia igual a 1/99 de la resistencia del amperímetro, y las lecturas del amperímetro deben de multiplicarse por 100; así, si marca 0,1 amperios, significa que pasan 10 amperios. A la cantidad que se multiplican las lecturas del amperímetro se le llama *factor de multiplicación del shunt,* que en el caso presente es de 100.

Prácticamente esta determinación se facilita debido a que todos los amperímetros de calidad, e incluso los de mediana clase, tienen indicada qué resistencia hay entre los dos bornes de conexión, es decir, precisamente en los puntos donde debe de conectarse la derivación (shunt). Esta resistencia es muy pequeña, de menos de un ohmio, siendo muy corriente encontrar amperíme-

tros que tienen una resistencia de una décima de ohmio, lo cual significa que la resistencia derivada (shunt), será de un valor muy pequeño, a veces centésimas o milésimas de ohmio.

Puente de Wheatstone. — Es una aplicación de las resistencias en paralelo; permite medir una resistencia desconocida con una gran precisión.

El principio del puente de WHEATSTONE se funda en que cuando hay dos conductores, conectados en paralelo, habrá un punto *m*, del conductor A *m* B, que tendrá la misma diferencia de potencial que otro punto *r*, del conductor A *r* B: estando ambos puntos al mismo potencial no circulará corriente por el conductor *m r*, lo cual se pone en evidencia intercalando un galvanómetro (Fig. 54) y ver que no desvía.

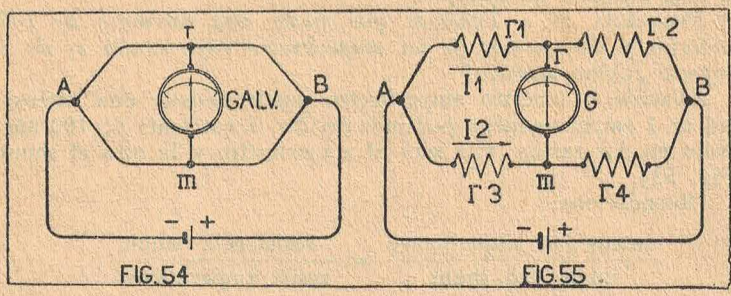


FIG. 54 FIG. 55

Representemos las porciones del circuito anterior por resistencias (Fig. 55) y veremos la condición de equilibrio entre las resistencias de los cuatro *brazos* del puente:

Sean r_1 yr_2 las dos resistencias superiores y r_3 y r_4 las dos resistencias inferiores. Llamemos *m* y *r* a los dos puntos de unión del circuito del galvanómetro y sea I_1 la intesidad de la rama superior e I_2 la de la rama inferior.

La caída de tensión entre A *r* es la misma que entre A *m*, e iguales, respectivamente a: $I_1 \times r_1$ e $I_2 \times r_3$, luego:

$$I_1 \times r_1 = I_2 \times r_3,$$

de donde formaremos la siguiente proporción:

$$r_1/r_3 = I_2/I,$$

En la segunda parte de los brazos tendremos también:

$$I_1 \times r_2 = I_2 \times r_4$$

de donde deducimos:

$$r_2/r_4 = I_2/I_1.$$

Pero, como que los segundos miembros de estas dos proporciones son idénticos, los primeros deben serlo también, puesto que son dos ecuaciones equivalentes; luego tendremos a la condición de equilibrio del galvanómetro:

$$r_1/r_3 = r_2/r_4 \qquad [28].$$

y finalmente:

$$r_4 = r_3 \times r_2/r_1;$$

luego, si se conocen tres resistencias, la cuarta puede hallarse mediante esta ecuación. Esta resistencia desconocida acostumbra a conectarse a dos bornes especiales dispuestos a este fin. Este aparato es bastante caro y muchos experimentadores tendrán interés en construirse el *puente* que vamos a describir, que les cos-

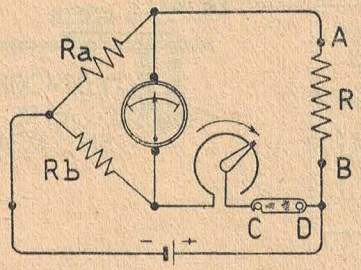
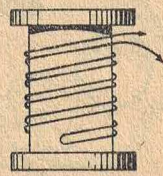


FIG. 56


FIG. 57

tará pequísimo dinero. Antes de describir este aparato queremos hacer presente a nuestros lectores que las capacidades e inductancias pueden medirse con una disposición semejante a la del puente que hemos dscrito, con la diferencia fundamental que los "brazos" están formados por bobinas cuando se emplea para medir inductancias (Puente de Maxwell) y por condensadores cuando se trata de medir capacidades. Este último se llama "Puente de Sauty".

Puente de Wheatstone experimental. — Necesitamos dos resistencias *iguales* R*a* y R*b* (Fig. 56), de cualquier valor; un miliamperímetro y un potenciómetro de resistencia conocida, graduado. Se intercala la resistencia a medir, R, en los bornes A y B, se mueve la maneta del potenciómetro (conectado como reostato) y cuando el miliamperímetro marque cero, el valor R será igual a la resistencia utilizada del potenciómetro.

Con este "puente" sólo es posible medir resistencias iguales, o menores, que la del potenciómetro; caso de quererse medir re-

sistencias mayores se quita la plaquita C D y en su lugar se conecta a los bornes C D una resistencia *conocida*. Entonces podremos medir resistencias iguales a la suma de la resistencia del potenciómetro más la resistencia intercalada entre C y D.

Este puente cuidadosamente construído, teniendo bien calibrada la resistencia del potenciómetro y con varias resistencias conocidas para conectar en C D, es un precioso auxiliar.

Los conductores que se empleen en el alambrado deben de ser muy grueso, de cobre y, a ser posible, varillas, a fin de ofrecer la mínima resistencia posible.

Las resistencias fijas que intervienen en los puentes de WHEATSTONE *no son inductivas*, a fin de que a la medida de la resistencia no se sume ningún efecto de autoinducción.

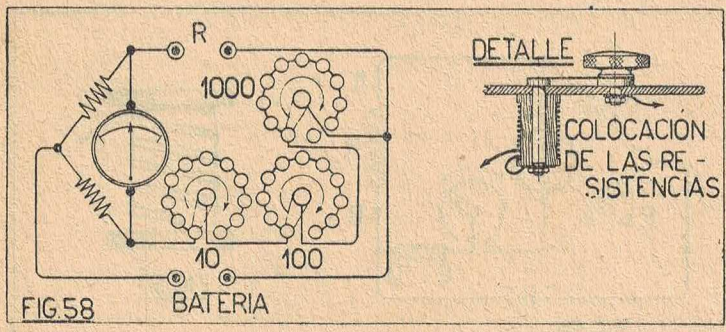


FIG.58

Se consigue esto devanando dos hilos a la vez, del mismo diámetro y clase, uno al lado del otro, teniendo cuidado de soldar bien los extremos (Fig. 57).

En los puentes de laboratorio, todas les resistencias están hechas en forma de bobinas, conectadas en serie, por grupos; una maneta de plots hace los contactos, variando así la resistencia con suma facilidad. Pueden haber varios grupos de estas resistencias y tener un aparato de inapreciable ayuda. En la figura 58 indicamos la disposición que acostumbran a tener los puentes de WHEATSTONE usados en los laboratorios y en la industria.

Resistencia en radio frecuencia

En el caso de la corriente continua los electrones fluyen con igual intensidad a través de la sección del conductor (Fig. 60), pero en los circuitos recorridos por una corriente alterna, a medida que la frecuencia aumenta, la densidad electrónica se con-

centra hacia la superficie, y como que deben de pasar más electrones en menos espacio, la resistencia va aumentando.

Tal vez el lector comprenderá mejor este fenómeno imaginándose un submarino que avanza trabajosamente en el seno del mar: es el caso de un electrón que circula por un circuito de corriente continua. Luego podemos considerar una rápida canoa que avanza la mitad en el agua y la mitad fuera; comparamos así a un electrón de un circuito de una frecuencia relativamente elevada; finalmente, supongamos un hidropatín que alcanza su velocidad máxima cuando se desliza sobre las aguas.

A medida que la frecuencia aumenta, los electrones se deslizan más sobre la superficie, penetrando muy poco en comparación con el diámetro del conducor, (Fig. 60).

A la profundidad que penetra la corriente se llama *coeficiente de penetración*. Debido a esto, los conductores de los circuitos oscilantes de las grandes emisoras, así como las inductancias de sintonía, acostumbran a hacerse con tubos de hierro con una capa de plata, depositada por galvanoplastia, cuyo espesor acostumbra a ser de más o menos un milímetro: de esta forma se comporta como si fuese una barra maciza de este metal.

Hay una relación entre la resistencia que ofrece un conductor a la corriente continua y a una cierta frecuencia. Supongamos un conductor rectilíneo, la resistencia que ofrecerá al ser recorrido por una corriente alterna de una frecuencia determinada se expresa mediante la fórmula:

$$\text{R.r.f.} = \text{R.c.c.} \times 2{,}35 \times \text{Diám. en mm.} / \sqrt{\text{Long. onda en Kms.}} \quad [30].$$

En fórmula, R. r. f. representa resistencia en radio frecuencia; R. c. c. resistencia con corriente continua; 2,35 es un coeficiente.

PROBLEMA 40. — *Se quiere saber qué resistencia ofrecerá una antena unifilar de 2 mm. de diámetro, cuando es corrida por una corriente inducida por el paso de una onda de 360 m. de longitud, sabiendo que a la corriente continua este conductor ofrece una resistencia de 1 ohmio.*

Solución. — Utilizando la fórmula [3], tendremos:

$$\text{R.r.f.} = 1 \times 2{,}35 \times 2 / \sqrt{0{,}360} = 7{,}83 \text{ ohmios};$$

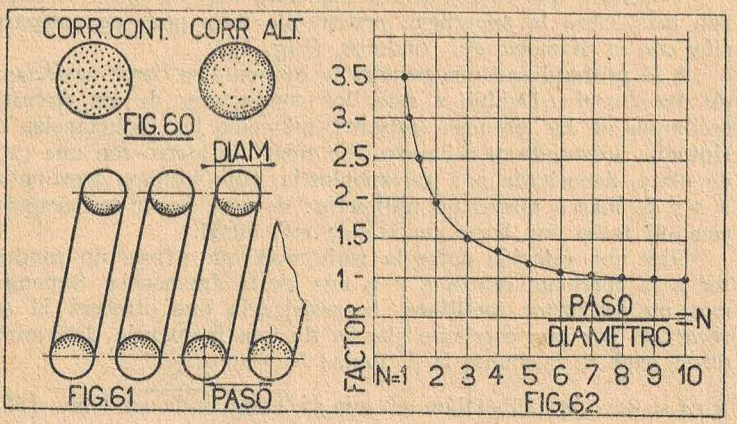
es decir, la resistencia ha aumentado casi ocho veces.

Si el hilo en vez de ser rectilíneo lo devanamos en forma de bobina, que es el caso más usual en radio, entonces aumenta otra vez la resistencia, debido a que ahora no siendo uniforme el campo magnético (caso del conductor rectilíneo), resulta que la densidad de la corriente afecta la forma de la figura 61, amonto-

nándose los electrones en la parte interna y, por lo tanto, aumenta la resistencia, debido a que no se utiliza toda la superficie del conductor, sino sólo una parte de ella.

Esta resistencia aumenta a medida que las espiras son más juntas, debiéndose multiplicar la resistencia en radio frecuencia hallada por la fórmula [30], por la razón entre el paso y el diámetro del hilo. Hemos indicado esta relación por medio de la curva de la figura 62, a fin de facilitar el cálculo.

Mediante esta curva vemos que cuando el paso de la espira es igual al diámetro del hilo, la resistencia es $3\,^1/_2$ veces mayor



que la resistencia en radio frecuencia, y que cuando el paso alcanza unas seis veces el diámetro, se aproxima a como si fuese un hilo rectilíneo.

PROBLEMA 41. — *Supongamos que hacemos una bobina de una sola capa* (solenoide), *tocándose las espiras, una al lado de la otra. Admitimos que emplearemos el hilo calculado en el problema 40. Averiguar la resistencia.*

Solución. — En este caso, siendo el paso igual al diámetro del hilo, la relación será 1. En la curva vemos que cuando la relación es 1 hay que multiplicar la resistencia por 3,5 (aproximadamente); luego tendremos:

$$R = 7{,}83 \times 3{,}5 = 27{,}4 \text{ ohmios.}$$

Con estos ejemplos vemos cómo varía la resistencia de un conductor en distintas circunstancias. El mismo hilo ofrece una resistencia de 1 ohmio, 7,83 ohmios y 27,4 ohmios.

Damos por terminada la explicación sobre la resistencia y estamos seguros que de su exposición el lector habrá sacado la consecuencia de que es necesario tener en cuenta muchos fenómenos distintos al hacer experiencias, explicándose entonces el por qué de efectos al parecer extraños.

CAPITULO II

Inductancia

Los efectos de la inductancia, combinados con los de la capacidad, son la base de los fenómenos de la radiocomunicación, por cuyo motivo explicaremos cuantos datos sean de interés para el radioexperimentador.

Al circular una corriente por un conductor se crea un campo magnético que lo circunda, cerrándose las líneas de fuerza en forma de anillos perpendiculares al conductor (Fig 6). Es conveniente que el lector tenga una idea clara de lo que representa un campo magnético y no confundir el concepto de lo que se llama *línea de fuerza;* no es que se deba considerar al campo formado como de *hilos de fuerza,* sino que es más útil considerarlo como un *medio* cuya densidad va disminuyendo a medida que se aleja de su punto de origen. No obstante, para los cálculos, se considera como si se tratase de *líneas de fuerza.*

Este campo magnético, según explicamos en momento oportuno, crea una fuerza electromotriz de sentido contrario a la que ha dado origen al campo, e inversamente, al desaparecer la corriente y anularse el campo magnético, éste crea otra fuerza electromotriz que ahora se suma a la corriente desaparecida. Estos hechos se conocen con el nombre de la *Ley de Lenz,* que puede enunciarse en la siguiente forma: *El sentido de la corriente inducida es tal que el flujo que ellas produce tiende a oponerse a la variación del flujo inductor.*

Es natural que si en vez de disponer el conductor longitudinalmente lo enrollamos en forma de bobina, como que el campo tendrá el mismo sentido y las líneas de fuerza de una espira abrazarán a las otras, aumentarán el efecto.

El campo magnético formado alrededor de todo conductor atravesado por una corriente, es directamente proporcional a la intensidad de ésta. Si expresamos por N la cantidad de líneas de fuerza, tendremos:

$$N = L \times I, \qquad [31]$$

donde I representa la intensidad de la corriente y L la *autoinducción* o *inductancia* del circuito.

El valor de L depende de la forma del conductor, aumentando el efecto al devanarlo en forma de bobina. Y si introducimos dentro de la misma un núcleo de hierro, como que en este caso la densidad de las líneas de fuerza aumenta, la inductancia será también mayor.

La unidad de inductancia es el *henrio. Se dice que un circuito tiene una inductancia de un henrio cuando la fuerza electromotriz es de un voltio y la intensidad varía a razón de un amperio por segundo.*

Las inductancias empleadas en radio son muy pequeñas, por cuyo motivo se emplean los submúltiplos: el millihenrio y el microhenrio, que equivalen a la milésima y millonésima parte de un henrio. Sólo en los *filtros* se acostumbran a emplear inductancias de 50 henrios, y más elevadas aún.

Nos interesa saber la energía que almacena el campo magnético de un circuito que posee inductancia. Esta energía viene indicada por la fórmula:

$$\text{Energía} = L \times I^2/2, \qquad [32]$$

donde L es la inductancia en henrios, I la intensidad de la corriente en amperios; la energía viene expresada en joulios. Esta energía es la que, al crecer la corriente, es absorbida por la creación del campo magnético y la que se restituye al disminuir la corriente. Teniendo en cuenta que el valor de la intensidad está elevado al cuadrado, se explica la formación de chispazos al interrumpir bruscamente un circuito que contiene una fuerte inductancia.

En todos los fenómenos de inducción, la fuerza electromotriz inducida depende del número de líneas de fuerza que se cortan por segundo.

Luego:

$$\text{F.E.M.} = \text{Número de líneas de fuerza/Tiempo en segundos} \qquad [33]$$

Según la definición dada en la primera parte, si cortamos 100.000.000 de líneas de fuerza en un segundo, tendremos:

$$1 \text{ voltio inducido} = 100.000.000 \text{ líneas de fuerza cortadas} \qquad [34]$$

En esta sencilla fórmula se basan todos los cálculos de dínamos y motores eléctricos, sabiendo las líneas de fuerza que tiene el campo, el número de espiras que tiene el inducido y las revoluciones que éste efectúa por segundo.

48. PROBLEMA 42. — *Una dínamo cuyo campo es de 5 millones de*

líneas de fuerza, es cortado por la bobina de un inducido de 10 espiras que gira a razón de 25 revoluciones por segundo.

Determinar el voltaje inducido.

Solución. — Según la definición, tendremos:

$$E = 2 \times 5.000.000 \times 10 \times 25/100.000.000 = 25 \text{ voltios.}$$

Hemos multiplicado por 2 porque a cada revolución del inducido éste corta dos veces las líneas de fuerza del campo.

Este problema, generalizando la fórmula:

$$E = 2 \times Nl. \times Ne \times Nr./100.000.000, \qquad [35]$$

donde Nl significa número de líneas de fuerza, Ne número de espiras y Nr número de revoluciones por segundo, permite calcular, transponiendo los términos, la intensidad del campo magnéticotico, el número de espiras, o las revoluciones, para obtener un voltaje determinado. Estas fórmulas las deducirá fácilmente el lector después de leer el capítulo "Preliminares de Matemáticas", dado al final de esta obra.

Si ahora consideramos dos circuitos separados, el primero formado por una bobina, una batería y un interruptor y el otro por una bobina y un galvanómetro, veremos que al cerrar el primer circuito, el galvanómetro acusará un paso de corriente y, al abrirlo, otra corriente, inversa de la primera, cumpliendo la *Ley de Lenz*. Si estas bobinas están relativamente cerca, la fuerza electromotriz inducida puede llegar a ser muy considerable.

En el caso que acabamos de considerar, vemos que el campo magnético creado por una bobina que conduce la corriente abraza al conductor vecino, induciéndole una fuerza electromotriz. Si N es el número de líneas de fuerza que abrazan al segundo conductor e I la intensidad de la corriente que ha creado el campo, tendremos:

$$N = M \times I. \qquad [36]$$

siendo M una constante de proporcionalidad llamada *factor de inductancia mutua* de los dos circuitos. Luego, cuando I es igual a un amperio, M equivale al número de líneas de fuerza que han abrazado al circuito inducido.

Si colocamos paralelamente dos conductores, cuyas inductancias sean respectivamente, L y L1, el coeficiente de inducción mutua máximo que pueden tener viene dado por la fórmula:

$$M = \sqrt{L \times L1} \qquad [37]$$

La relación que hay entre este valor máximo y el que puede existir se llama *coeficiente de acoplamiento* y se representa por la letra k; luego tendremos:

$$k = M/\sqrt{L \times L1}. \qquad [38]$$

Vemos, fácilmente, que cuando el acoplo sea máximo, el coeficiente será 1, disminuyendo a partir de este valor.

Cuando *k* es muy grande se dice que el acoplamiento es *rígido,* es cuando varía de 1 a 0,60; menor de 0,40 es *flojo;* se efectúan los acoplamientos entre 0,2 y0,5.

La fuerza electromotriz E inducida en el secundario, siendo M el coeficiente de inducción mutua y admitiendo que en el primario la corriente varía de un valor I' en un tiempo *t,* será:

$$E = M \times I'/t. \qquad [39]$$

La inducción mútua se mide con las mismas unidades que la inductancia. Téngase presente que la inductancia mutua es la que ocasiona la transferencia de energía entre dos circuitos vecinos que no tienen conexión metálica alguna y, por consigüiente, de una gran importancia en radio; sin embargo, su cálculo se hace a veces sumamente difícil. En primer lugar, varía con la distancia que separa los dos circuitos, con su relativa posición, de la construcción y tamaños de los circuitos, y finalmente, de la clase de materia que los separa.

La corriente alterna y la inductancia. — Una inductancia recorrida por una corriente alterna, produce fenómenos que es necesario saber interpretar y calcular.

Cuando estudiamos la corriente alterna vimos que al intercalar una resistencia en el circuito, no se producía ningún cambio: la intensidad crecía y decrecía al mismo tiempo que el voltaje, es decir, seguían las mismas variaciones, lo cual se acostumbra a expresar diciendo que están en *fase.*

Sea una inductancia L, *sin resistencia,* intercalada en un circuito de corriente alterna (Fig. 64), y consideremos la curva de la intensidad. Observamos que al pasar la intensidad a través de la línea del valor cero es cuando el *cambio* de valor será más brusco, es cuando se inducirá mayor voltaje en la inductancia L; en cambio, al llegar la intensidad a su valor máximo, como que la *variación* es nula, el voltaje inducido en L será nulo, y así sucesivamente. De esta forma tenemos la curva de la intensidad I y la curva del voltaje inducido en los bornes de la bobina. Puesto que la fuerza electromotriz inducida es proporcional a cada momento, a la variación de la intensidad, si ésta tiene la forma de un sinusoide, también tendrá esta forma la curva del voltaje inducido.

Siendo la fuerza electromotriz inducida, a cada instante, igual en valor y de sentido opuesto a la fuerza elctromotriz que la ha originado, tendremos la tercera curva, la del contravoltaje, opuesto al voltaje inducido.

De estos gráficos deducimos una consecuencia fundamental: *la curva de la intensidad de un circuito que contiene una inductancia pura está retrasada de un cuarto de ciclo (90 grados), de la curva de voltaje.*

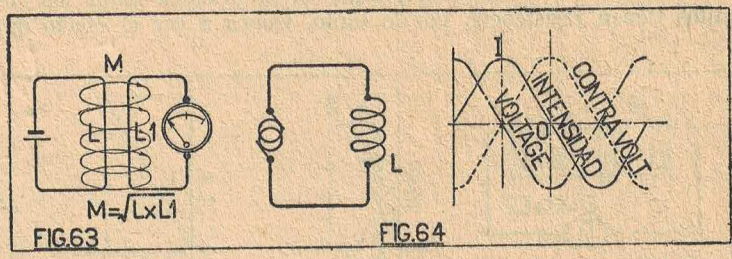
(Este fenómeno, como veremos más adelante, es opuesto al ofrecido por una capacidad, y por lo tanto cuando ambos efectos son iguales en magnitud, se anulan, diciéndose entonces que el circuito está en *resonancia*).

El valor de la fuerza electromotriz en voltios, inducida por una bobina, es igual a 6,2832 multiplicado por la frecuencia en ciclos por segundo, por la inductancia en henrios y por la intensidad en amperios:

$$E = 6{,}2832 \times f \times L \times I; \qquad [40]$$

luego tendremos:

$$I = E/6{,}2832 \times f \times L \qquad [41]$$



por la tanto ya vemos que la expresión del denominador equivale al valor de R de la ley de OHM cuando la corriente es continua; en el caso presente se le denomina *reactancia* y se abrevia con la letra X; luego:

$$X = 6{,}2832 \times f \times L. \qquad [42]$$

La reactancia se mide en ohmios, lo mismo que la resistencia; pero así como en una resistencia los ohmios representan una causa de pérdida de energía en forma de calor, en el caso de la reactancia es una resistencia *ficticia,* por lo que a la disipación de la energía se refiere, pues si bien es verdad que se absorbe en el primer medio ciclo para formar el campo magnético, esta energía se restituye al circuito al medio ciclo siguiente, al desaparecer el campo.

PROBLEMA 43. — *En un circuito oscilante, cuya frecuencia es de 10.000.000 de períodos por segundo (onda de 30 m.), se ha colocado una bobina de choque de 5 microhenrios. Se desea saber qué efecto de reactancia producirá.*

Solución:

$$X = 6{,}2832 \times 10.000.000 \times 0{,}000.005 = 31{,}42 \text{ ohmios};$$

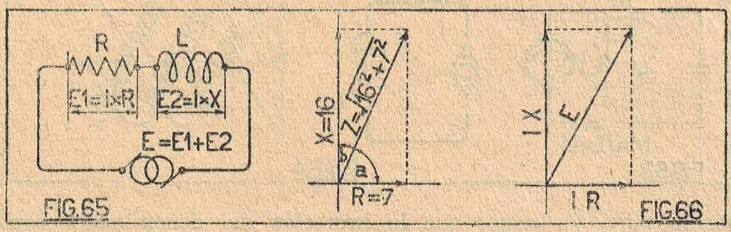
luego, a pesar de ser una inductancia de 5 millonésimas de henrio, vemos que ofrece una rectancia considerable. Si quisiéramos saber la intensidad, aplicaríamos [41].

PROBLEMA 44. — *¿Qué reactancia ofrece una bobina de choque de 50 henrios colocada en un sector de corriente alterna cuya frecuencia es de 60 períodos por segundo?*

Solución:

$$X = 6{,}2832 \times 60 \times 50 = 18849{,}6 \text{ ohmios.}$$

Hemos considerado, en lo que venimos demostrando, que la inductancia era pura, *sin resistencia*, pero esto puede admitirse sólo para una demostración, porque en la práctica *todos* los circuitos tienen resistencia, por lo tanto, vamos a ver el efecto que



produce el intercalar en un circuito de corriente alterna una inductancia y una resistencia en serie.

El lector tal vez pensará que expresándose la reactancia en ohmios, lo mismo que la resistencia, con sumar ambos valores tendríamos el resultado, pero esto no es cierto por la sencilla razón de que si bien es verdad que en un circuito recorrido por una corriente alterna, con resistencia solamente, a cada instante la intensidad es proporcional al voltaje; en cambio, si hay una inductancia, ya hemos visto que *la intensidad está retardada de* 90 *grados del valor de la fuerza electromotriz* y, por consiguiente, no es posible hacer la suma *aritméticamente*. Estando la intensidad en fase con el voltaje, cuando hay resistencia podemos marcar en un sistema de coordenadas rectangulares el valor de R sobre el eje de las *equis*, y estando la intensidad defasada 90 grados en la self, escribiremos sobre el eje de las *íes*, el valor de la reactancia y sumaremos *vectorialmente* ambos valores (Fig. 65).

PROBLEMA 45. — *Una resistencia R de 7 ohmios está intercalada en serie con una inductancia que ofrece una reactancia de 16 ohmios.*

Queremos saber la resistencia total que ofrecerá el circuito.

Solución. — Según la figura 65, vemos que la suma de los dos vectores, o sea Z, será igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de 16 y de 7; luego:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{7^2 + 16^2} = \sqrt{305} \qquad [43]$$

$$Z = 17{,}46 \text{ ohmios.}$$

A la cantidad Z se la llama *impedancia* del circuito, que, como vemos, representa los efectos de la resistencia y de la reactancia combinadas, que *impiden* el paso de la corriente. Deduciremos de esto que para un circuito de corriente alterna que posee una inductancia y una resistencia en serie, el valor Z representa lo mismo que R en un circuito de corriente continua. Luego podemos determinar, empleando la ley de OHM, el valor de la intensidad cuando se aplica un voltaje alterno E:

$$I = E/\sqrt{X^2 + R^2} \qquad [44]$$

Una vez conocido I podremos averiguar las caídas de tensión ocasionadas por X y por R:

$$E^2 = (R \times I)^2 + (X \times I)^2,$$

y sacando I^2 factor común:

$$E^2 = I^2 \times (X^2 + R^2)$$

PROBLEMA 46. — *¿Qué voltaje hay que aplicar a un circuito constituído por una resistencia de 5 ohmios conectada en serie con una inductancia de 1 henrio, si queremos que pase una corriente de tres amperios? La frecuencia es de 60 ciclos.*

Solución. — La reactancia X valdrá:

$$X = 6{,}2832 \times 60 \times 1 = 377 \text{ ohmios.}$$

Las caídas de tensión serán:

$$\text{En } R = R \times I = \quad 5 \times 3 = \quad 15 \text{ voltios}$$
$$\text{En } L = X \times I = 377 \times 3 = 1131 \quad \text{"}$$

luego, según [45]:

$$E = \sqrt{15^2 + 1131^2} = \sqrt{1.279.386} = 1131{,}09 \text{ voltios.}$$

Deduzcamos una consecuencia muy importante que veremos claramente mediante un ejemplo.

PROBLEMA 47. — *Con la resistencia y la inductancia del caso anterior, determinar cuál será la corriente si se aplica una fuerza electromotriz de 250 voltios.*

Solución. — La impedancia tendrá un valor de:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{142.154} = 377{,}03 \text{ ohmios.}$$

y la intensidad será de:

$$I = 250/377{,}03 = 0{,}663 \text{ amperios efectivos;}$$

luego la caída de tensión en la resistencia y en la bobina serán, respectivamente, de:

$$\text{En R: } I \times R = 3{,}315 \text{ voltios efectivos.}$$
$$\text{En L: } I \times X = 249{,}951 \text{ " "}$$

Estos dos valores son los catetos del triángulo rectángulo (Figura 66) en el cual la hipotenusa representa la fuerza electromotriz aplicada; el cateto del eje de las *equis* representa la caída de tensión ocasionada por la resistencia: 3 voltios con 315 milésimas, y, el cateto del eje de las *íes*, representa la caída de tensión ocasionada por la reactancia: 249 voltios con 951 milésimas.

En el ejemplo que estamos considerando, queremos saber la potencia disipada; según [6], tendremos:

$$W = I^2 \times R = 0{,}663^2 \times 5 = 0{,}44 \times 5 = 2{,}19 \text{ vatios, aprox.}$$

El producto del voltaje y la corriente, efectivos, es de:

$$250 \times 0{,}663 = 165{,}75 \text{ "volts-amperios" (potencia aparente)}$$

para saber la potencia disipada de estos "volts-amperios" es necesario multiplicarlos por la relación entre la resistencia y la reactancia, que en el presente caso es igual a:

$$5/377{,}03 = 0{,}0132$$

a esta cantidad se la llama *factor de potencia.* Multiplicándolo por los 165,75 "volt-amperios" tendremos los vatios disipados, hallados anteriormente:

$$W = 165{,}75 \times 0{,}032 = 2{,}18 \text{ vatios.}$$

Cada circuito tiene su factor de potencia y en el caso presente, este valor es de 0,0132.

Cuando un circuito tiene solamente resistencia, el factor de potencia es igual a 1, lo mismo que cuando está en resonancia, en cuyo caso, como que la reactancia de la capacidad es igual y de signo contrario a la de la inductancia, queda sólo el efecto de la resistencia. El factor de potencia puede variar de 1 a cero,

tendiendo hacia este último valor cuando la resistencia es muy pequeña y la impedancia muy grande.

Luego, en cualquier circuito de corriente alterna, los vatios se calculan mediante la fórmula:

$$\text{Vatios} = \text{Voltios} \times \text{Amperios} \times \text{Factor de potencia}, \quad [45]$$

calculándose el factor de potencia por la relación:

$$\text{Factor de potencia} = \text{Resistencia}/\text{Impedancia} \quad [46]$$

Según el triángulo trazado anteriormente (Fig. 65) en el cual la hipotenusa es Z (la impedancia) y el cateto menor es R (la resistencia), es fácil deducir que el factor de potencia es igual al coseno de *a* .En las obras de Electricidad se denomina cos. φ. (coseno *fi*).

En efecto,

$$R/Z = \text{seno de } b,$$

y como que el seno de un ángulo es igual al coseno de su ángulo complementario, tenemos que R/Z es el coseno de *a*.

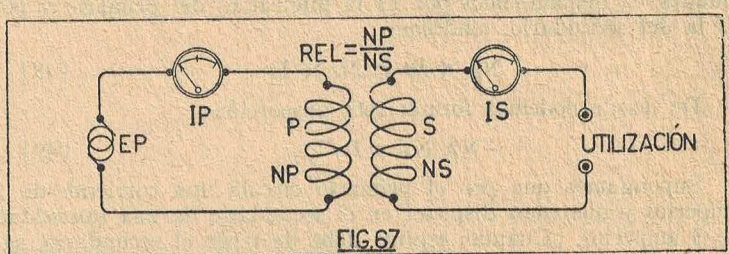


FIG.67

El transformador. — La inducción mutua entre dos circuitos tiene su aplicación en los transformadores. En un esquema de radio vemos una serie de circuito independientes, por lo que a unión metálica se considera, pero *unidos* por el efecto de la inducción mutua.

El transformador tiene aún otra ventaja importantísima y es que no sólo permite aislar los circuitos en fracciones, sino que al transferir la energía de uno a otro, mediante las líneas de fuerza, puede aumentar el voltaje, o la intensidad, en el circuito inducido.

Se da el nombre de *primario* a la bobina por la cual circula la corriente alterna de la fuente de alimentación, y circuito *secundario* al que se le ha transferido la energía (Fig. 67).

Si el transformador está destinado a *elevar el voltaje* se le llama *elevador de tensión,* e inversamente, si en el secundario debe haber *menos voltaje,* se le llama *disminuidor de tensión.*

La relación entre la potencia absorbida por el primario y la deliberada por el secundario, no varía; es decir, que si la tensión en el primario es de 100 voltios y circula por él una intensidad de un amperio, si el secundario ha elevado la tensión diez veces, esto es, a 1.000 voltios, la intensidad habrá disminuído a un décimo de amperio: ambos productos serán iguales.

La relación de voltajes depende del número de espiras que posee el primario y el secundario. Si llamamos N_p a las espiras del primario, N_s, a las del secundario, E_p la tensión del primario y E_s la tensión inducida en el secundario, tendremos:

$$N_p/N_s = E_p/E_s \qquad [47]$$

Empleando esta fórmula, si admitimos un primario de 50 espiras y un secundario de 250, aplicando al primario una tensión de 110 voltios, tendremos en el secundario:

$$E_s = 250 \times 110/50 = 550 \text{ voltios.}$$

De la proporcionalidad de voltajes deduciremos la de intensidades; si denominamos por I_p la intensidad del primario y por I_s la del secundario, tendremos:

$$N_p \times I_p = N_s \times I_s \qquad [48]$$

De donde podemos formar esta proporción:

$$N_p/N_s = I_s/I_p. \qquad [49]$$

Supongamos que por el primario circula una corriente de 5 amperios y queremos disponer en el secundario de una intensidad de 3 amperios. ¿Cuántas espiras debe de tener el secundario, sabiendo que el primario tiene 75

Según la fórmula anterior, tendremos:

$$N_s = 75 \times 5/3 = 125 \text{ espiras.}$$

Los transformadores se emplean en radio electricidad para elevar o disminuir la tensión del sector y alimentar las placas y los filamentos de las válvulas, a veces para tener dos circuitos sin conexión y, en fin, de la disposición de los transformadores depende la mayor parte de la técnica de la radio.

Cuando se emplean para elevar o disminuir la tensión del sector son de núcleo cerrado, a fin de concentrar un campo magnético muy enérgico. La reactancia acostumbra a ser muy grande, a pesar de que la frecuencia es muy baja: de 50 a 60 períodos. La intensidad que deben de suministrar en el secundario es débil si son para alimentar las placas de las válvulas y, por lo tanto, el hilo empleado es de poca sección. Un caso análogo ocurre con

los transformadores elevadores de tensión usados para alimentar emisores pequeñas.

Los transformadores de radio y audiofrecuencia tienen por objeto transferir la corriente pulsatoria deliberada por la placa y crear, al pasar por el primario, un voltaje alterno en el secundario, que es el que se aplica a la rejilla de la válvula siguiente.

El núcleo de hierro no tiene el mismo efecto con elevadísimas frecuencias que con el relativamente bajas, pues el campo magnético necesita un cierto tiempo, para formarse, y para desaparecer; por este motivo se acostumbra a emplear núcleo de hierro sólo en los transformadores de baja y audiofrecuencias, empleándose también, bastante, en los transformadores de frecuencia intermedia. Sólo en aparatos especiales se emplean transformadores de radiofrecuencia con núcleo de hierro; su construcción es muy esmerada, formándose el núcleo con láminas delgadísimas.

El transformador es un aparato de un rendimiento muy elevado, variando de 85 a 95 por 100, y en ciertos casos se llega a obtener un 98 por 100; el máximo se consigue reduciendo al mínimo las pérdidas, de las cuales citaremos las siguientes: *a*) al formarse los campos magnéticos en el núcleo de hierro se cambia la dirección de las moléculas, gastándose en ello energía: a este efecto se le denomina *histerisis; b*) al circular la corriente hay pérdida de energía al transformarse parte de ésta en *calor,* siendo necesario disponer los devanados de forma que puedan disiparlo fácilmente; *c*) en el núcleo se inducen corrientes parásitas, llamadas de *Foucault,* que se reducen a un mínimo haciendo el núcleo de una serie de láminas muy delgadas, dispuestas perpendicularmente al plano de las espiras, que es el sentido que circulan estas corrientes, y, *d*) no todas las líneas de fuerza creadas por el primario llegan al secundario, de donde, una pérdida de energía.

De mucho interés para el radioexperimentador es saber el efecto que producen en el secundario la capacidad e inductancia del primario, de lo cual me ocuparé a continuación.

Supondremos que realizamos estas experiencias con un transformador ideal, esto es, que no tiene pérdida de ninguna clase y por consiguiente de un rendimiento igual a 100 por 100. En realidad existen transformadores que tienen un rendimiento de 98 por 100, de forma que nuestra suposición es admisible.

Supongamos un transformador de relación 1 a 2, cuyo primario esté alimentado por un alternador que produzca una f. e. m. de 100 voltios, y que un amperímetro acuse 1 amperio; deducimos, pues, que R será igual a 100 ohmios (Fig. 68).

En el secundario, teniendo un número de espiras doble que en el primario, obtendremos 200 voltios, mientras que un amperí-

metro marcará 0,5 amperios. Podemos, pues, determinar que la *resistencia de carga* del secundario será igual a 400 ohmios.

Con esto vemos que la relación de resistencias entre el primario y el secundario es la misma que el cuadrado de la relación de transformación. En efecto, 400 : 100 = 4, y el cuadrado de la relación, 2, es también igual a 4. Deducimos, en consecuencia, que un cambio de resistencia en el secundario afectará al primario en la proporción:

$$R_p = R_s \times (N1/N2)^2 \qquad [50]$$

En el caso presente, una resistencia de 32 ohmios intercalada en el secundario, produce un efecto en el primario de:

$$R_p = 32 \times (1/2)^2 = 32 \times 1/4 = 8 \text{ ohmios.}$$

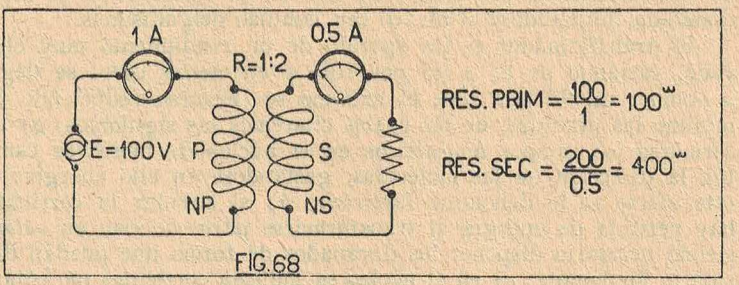


FIG. 68

Efecto de la inductancia. —Tiene la misma relación de efecto que si se tratase de una resistencia. Si se intercala una inductancia de 10 henrios en el secundario de un transformador cuya relación es de 1 a 5, (fig. 69), afectará al primario como si tuviese una inductancia de:

$$L_p = 10 \times (1/5)^2 = 10 \times 1/25 = 0{,}4 \text{ henrios.}$$

Efecto de la capacidad. — El efecto de la capacidad se transfiere de un circuito a otro también en proporción del cuadrado de la relación de transformación, pero en *sentido inverso*. Por consiguiente, donde hayan *más espiras* habrá el efecto de *menor capacidad*. Si suponemos un transformador relación 1/10 (Figura 70), en cuyo secundario tenemos un condensador de 1 microfaradio, transferirá al primario un efecto de:

$$C_p = 1 \times (10/1)^2 = 100 \text{ microfaradios.}$$

Sabiendo la frecuencia, podríamos determinar la reactancia del condensador (ver [69]): seguiría la misma relación que la capacidad, es decir, inversa del caso de resistencias e inductancia.

El cálculo de la inductancia y el de la inducción mutua muy complicado, porque una pequeña variación en los componentes cambia los resultados. Por este motivo, resumiremos los casos de mayor interés para el radioexperimentador, dando las fórmulas correspondientes y resolviendo algunos problemas con ellas.

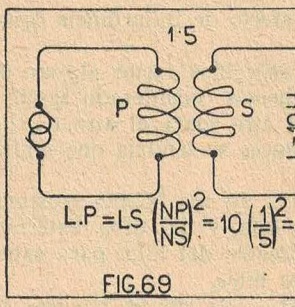


FIG.69

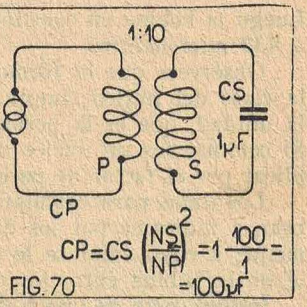


FIG. 70

Sin embargo, se puede, con gran facilidad, determinar el valor de las inductancias con el ondámetro, como ya veremos.

Inductancia de un solenoide. — La fórmula siguiente, es sólo aproximada:

$$L = 0{,}04 \times n^2 \times r^2 \times l \qquad [51]$$

Que representa:

L = inductancia de la bobina, en microhenrios,
n = número de espiras, por centímetro,
r = radio de la bobina, en centímetros,
l = longitud de la bobina, en centímetros.

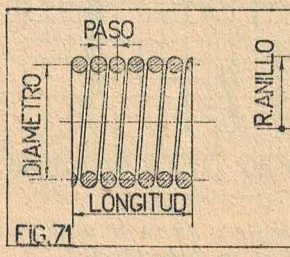


FIG.71

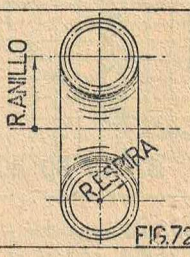


FIG.72

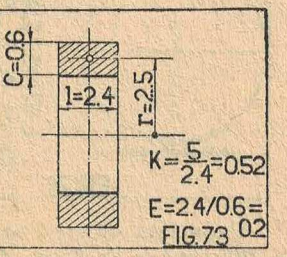


FIG.73 0.2

En la Fig. 71 se indica una bobina de esta clase (solenoide) es decir, de una sola capa de espiras, cilíndrica.

PROBLEMA 48. — *Una bobina contiene 60 espiras en una longitud de 12 cms. El diámetro, entre centros de espira es de 12*

centímetros. Se pregunta cuál es el valor de su inductancia, en microhenrios.

Solución: Aplicando la fórmula [51] encontramos:

$$L = 0{,}04 \times 5^2 \times 6^2 \times 12$$
$$L = 0{,}04 \times 25 \times 36 \times 12 = 432 \text{ microhenrios.}$$

Luego la bobina en cuestión ofrece un efecto de inductancia igual a 432 microhenrios.

Obsérvese que la fórmula [51] no especifica factor alguno de la clase del núcleo; implícitamente lo hemos considerado igual a la unidad, que es la permeabilidad del aire (para el aire, $\mu=1$). Si colocásemos un núcleo metálico, entonces se tendría que multiplicar por el factor de permeabilidad.

Los datos para calcular la inductancia de una bobina acostumbran a indicarse por los diámetros del hilo, y del tubo, exteriormente, a cuyo valor se le suma un diámetro del hilo, para saber el de la bobina entre los centros de los hilos.

Inductancia de una bobina toroidal. — Se da el nombre de *toro* a un anillo de sección circular (Fig. 72). La inductancia de una bobina de esta forma viene dada por la expresión:

$$L = 0{,}01257 \times n^2 \times [R - \sqrt{R^2 - r^2}]. \qquad [52]$$

Donde: n = número de espiras de la bobina.

R = radio del anillo en centímetros.

r = radio de la espira, en centímetros.

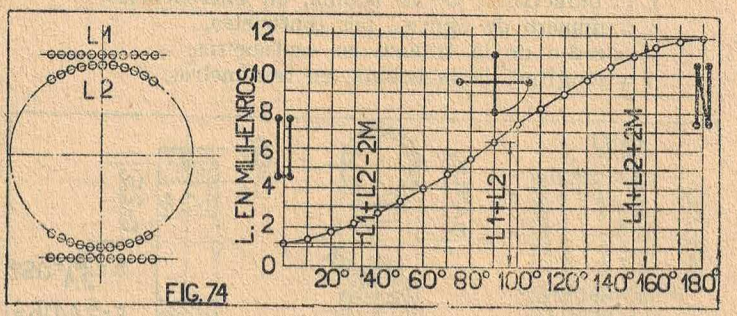


FIG. 74

PROBLEMA 49. — *Una bobina toroidal tiene un radio de 6 cms. y 100 espiras de 2 cm. de radio. ¿Cuál es su inductancia?*

Solución:

$$L = 0{,}01257 \times 10.000 \times [6 - \sqrt{36 - 4}]$$
$$L = 125{,}7 \times (6 - 5.65)$$
$$L = 125{,}7 \times 0{,}35 = 44 \text{ microhenrios, aprox.}$$

La gran ventaja que ofrece la bobina toroidal es que no tiene, prácticamente, campo magnético exterior. Debido a esta circunstancia no afecta a las bobinas cercanas e, inversamente, tampoco es afectada por ellas, a menos de que el campo perturbador sea de una longitud de onda pequeñísima.

Inducción mutua. — *Variómetro*. Se compone de dos inductancias en serie (Fig. 74), cuyas relativas posiciones, según que sus campos magnéticos se sumen o se resten hacen que la inductancia total varíe de:

$$L = L_1 + L_2 + 2M \qquad [54]$$

$$L' = L_1 + L_2 - 2M \qquad [55]$$

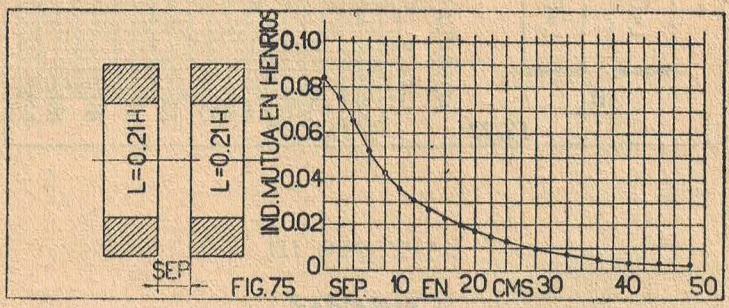


FIG. 75

Restando la fórmula (55) de la (54), tendremos:

$$L - L' = 4\,M,$$

de donde deducimos:

$$M = (L - L')/4.$$

La curva de la figura 74 ilustra claramente la variación.

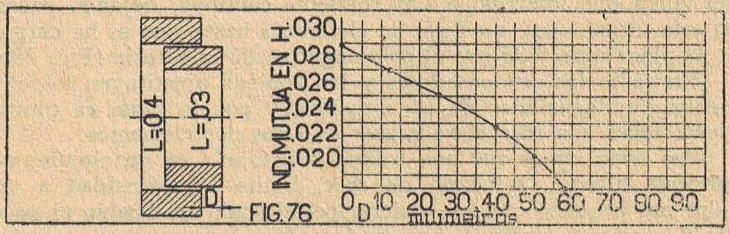


FIG. 76

Inducción mutua de dos bobinas circulares de varias capas de sección rectangular colocadas en un mismo eje. — Las fórmulas a desarrollar son difíciles de calcular, por cuyo motivo se da en la figura 75 una curva obtenida con dos bobinas de 206 mi-

lihenrios. La figura 76 supone a una de las dos bobinas penetrando dentro de la otra.

Inducción mutua de dos solenoides colocados en el mismo eje — La figura 77 muestra la curva obtenida en una medición; da una idea de cómo varía la inducción mutua entre dos bobinas de una sola capa de espiras cuyos ejes están en prolongación.

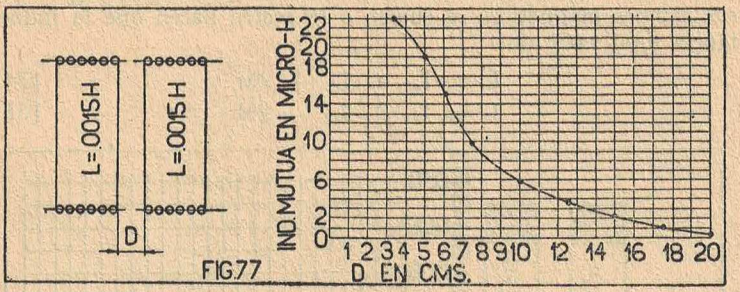


FIG.77

CAPITULO III

Capacidad

En el primer Capítulo dimos una idea de lo que se entiende por capacidad. Resumiendo, vimos que los electrones cargan primero una lámina del condensador, luego la otra, repitiéndose este efecto cada medio ciclo, de manera que un condensador intercalado en un circuito de corriente alterna, permite su paso. Asimismo vimos que interrumpe una corriente continua, dejando pasar, en este último caso, un flujo de electrones hasta que se ha cargado la placa conectada con el polo negativo de la batería (Fig. 78).

En radio los condensadores y las bobinas constituyen los elementos fundamentales de los circuitos, y por lo tanto es conveniente tener una idea clara acerca de estos dos elementos.

Así como vimos que una bobina intercalada en un circuito de corriente alterna, actuando de choc, limita la intensidad a un valor tan pequeño como se quiera, permitiendo en cambio el paso de la corriente continua, un condensador, inversamente, permite el paso de la corriente alterna, impidiendo el de la corriente continua. Estos efectos, opuestos, permiten la posibilidad de hacer cuantas combinaciones necesita el experimentador: aislar un circuito de otro; hacer que pase sólo tal o cual frecuencia; dejar

pasar la corriente continua y no la alterna, etc., etc. Sin embargo, para obtener estos resultados, en la forma que uno quiere, es necesario que las cantidades sean apropiadas, lo cual se consigue conociendo los valores y sabiendo los efectos al combinarse. De esto vamos a ocuparnos a continuación.

Capacidad de un condensador.—Se da este nombre a la cantidad de electrones que puede almacenar. La unidad es el *faradio*. Se dice que un condensador tiene la capacidad de un faradio cuando al aplicarle una diferencia de potencial de un voltio se produce una carga de un *culombio*.

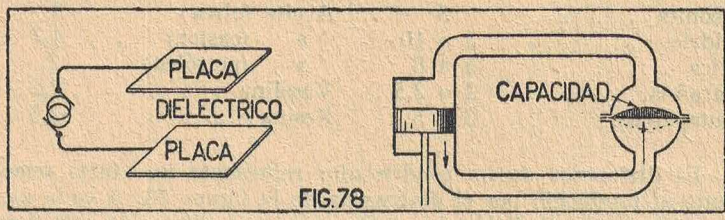


FIG.78

La carga Q (culombios) se expresa por la fórmula:

$$Q = C \times E. \qquad [56]$$

En esta ecuación C es una constante llamada *capacidad* del condensador. Luego:

$$C = Q/E. \qquad [57]$$

Esta fórmula es la representación matemática de la definición que hemos dado de la unidad de capacidad, el *faradio*.

El faradio es inmensamente grande para los fines prácticos de la electricidad y la radio, por lo cual, se emplean sus submúltiplos: el *microfaradio* (millonésima parte del faradio) y el *micromicrofaradio*, que es la millonésima parte del microfaradio, (equivalente al centímetro en unidades C. G. S.).

La substancia material que separa las láminas de un condensador se denomina *dieléctrico* y su valor varía con la clase de materia empleada. Este valor, llamado *constante dieléctrico*, se expresa comparándolo con respecto al aire, en cuyo caso el coeficiente dieléctrico se considera igual a la unidad. Llamando K al constante dieléctrico, este valor, de un cuerpo cualquiera, se determina por la ecuación:

$$K = C.\, v./C.\, a. \qquad [58]$$

Donde C v representa la capacidad de un condensador con dieléctrico, por ejemplo de vidrio, y C a la capacidad del mismo condensador con dieléctrico de aire.

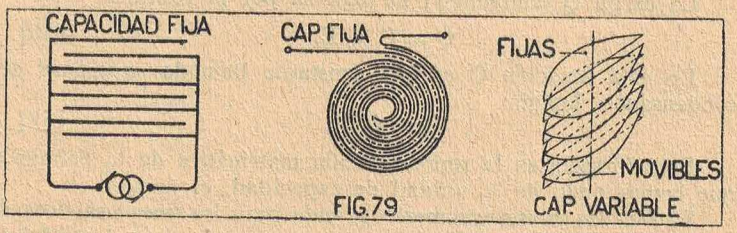
Los valores de K para las substancias más comúnmente empleadas se indican en la Tabla V.

TABLA V

VALORES DE K, CAPACIDAD INDUCTIVA DE DISTINTOS CUERPOS

MATERIA	K	MATERIA	K
Becalita	5 a 6	Cuarzo.	4,5
Formica	5 a 6	Porcelana. . . .	4,4
Ebonita	3	Aceite (oliva) . .	3,-
Vidrio.	5 a 10	» (castor) . .	4,7
Mica	5 a 8	» (petróleo) .	2,-
Parafina	2 o 2.5	Vaselina	2,2
Gutapercha . . .	3 a 5	Resina.	2,5

El dieléctrico de un condensador representa un efecto semejante al producido por el diafragma de la figura 78. A cada media alternancia el dieléctrico sufre como una dilatación que tien-



de a destruirlo, lo cual sucede si se aplica al condensador una tensión mayor de la que puede resistir. En este caso el condensador queda inutilizado por haberse *perforado* el dieléctrico en uno o varios puntos.

La destrucción del dieléctrico ocurre principalmente en los condensadores fijos y especialmente los de las emisoras, colocados en los circuitos oscilantes a consecuencia de los efectos de las sobretensiones. Con bastante frecuencia también se inutilizan los condensadores colocados en los circuitos de alimentación del sector. En ambos casos pueden resultar graves consecuencias para la vitalidad de órganos esenciales: válvulas, dinamos, etc.

Los condensadores pueden ser *fijos* y *variables*. A los fijos se les denomina así porque su capacidad es invariable, mejor dicho, no puede variarse a voluntad. Acostumbran a tener la forma de cartuchos o de un tubo, según la capacidad y tensión que pueden

resistir; los de baja tensión son cilíndricos, y los de tensiones elevadas de forma cúbica o rectangular. Los condensadores variables pueden estar destinados a bajas tensiones (receptores y emisoras de hasta 5 vatios), o bien a altas tensiones (emisoras de mediana y gran potencia) (Fig. 79).

Los condensadores, lo mismo que las bobinas y resistencias, no tienen polaridad, y por lo tanto es indiferente el orden de entrada y salida de la corriente.

Los dieléctricos, como que no son aisladores perfectos, permiten que algunos electrones de la placa, cargada en aquel instante negativamente, pasen a la placa positiva. Es natural que esta fuga de electrones resta rendimiento, siendo su efecto similar a si se conectase una resistencia en serie. A este efecto se le llama *resistencia de escape del condensador*. Un condensador perfecto no permite la fuga de un solo electrón.

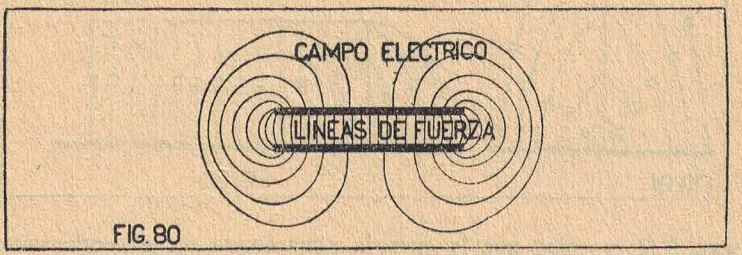


FIG. 80

Intensidad del campo eléctrico. — Si a un condensador se aplica una tensión E, las placas actúan en cada partícula del dieléctrico, en la misma forma como si esta fuerza electromotriz se aplicase a un cuerpo que en virtud de una carga eléctrica fuese capaz de desplazarse. Esta fuerza se llama *intensidad del campo eléctrico* (Fig. 80); su valor, en un punto cualquiera, dentro del condensador, se indica por la relación entre el voltaje aplicado a las placas y la distancia que las separa; luego:

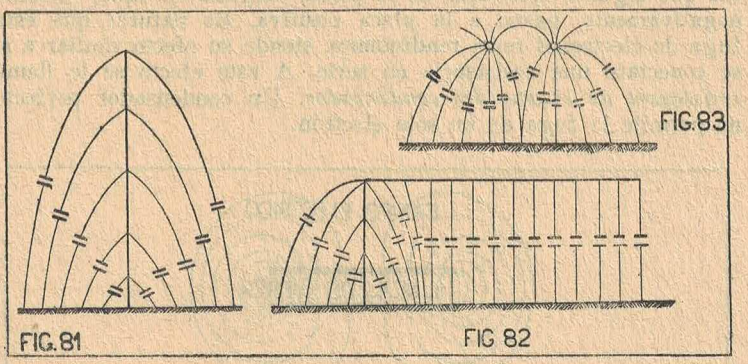
$$e = E/d. \qquad [59]$$

donde E es el voltaje y d la distancia, en centímetros.

Hay varias formas de campo producidas por capacidades. En el caso de un condensador de láminas paralelas, afecta la forma de líneas paralelas y de igual intensidad en todos sus puntos. Las antenas son interesantes ejemplos de campos producidos por condensadores, siendo notables el de un hilo vertical (Fig. 81) de una antena en forma de L invertida (Fig. 82) y el efecto de campo combinado de una antena horizontal bifilar (Fig. 83).

Energía almacenada en un condensador. — Explicamos ya que la deformación del dieléctrico de un condensador al someterlo a cargas sucesivas en un circuito de corriente alterna podíamos compararlo a la energía que almacena una membrana elástica (Figs. 12 y 78). Ahora bien; para calcular esta energía tengamos presente que el trabajo a efectuar para cargar un condensador es proporcional al producto del voltaje por la carga.

Si ahora cargamos uniformemente este condensador, desde cero a su valor máximo, es claro que el valor medio del voltaje



será E/2, y como que la energía almacenada en el condensador es el producto de este voltaje medio por la carga, tendremos:

$$\text{Energía} = 1/2 \times Q \times E, \qquad [60]$$

pero como [56], $Q = C \times E$, tendremos:

$$\text{Energía} = 1/2 \times C \times E^2; \qquad [61]$$

Este trabajo se expresa en joulios, la capacidad en faradios y la fuerza electromotriz en voltios.

PROBLEMA 51. — *Un condensador de 1 microfaradio se carga a una tensión de 10.000 voltios. ¿Qué energía almacena?*

Solución. — Según la fórmula [61], tendremos:

$$\text{Energía} = 1/2 \times 0{,}000\,001 \times 10.000^2.$$
$$\text{Energía} = 0{,}0000005 \times 100.000.000 = 50 \text{ joulios.}$$

En las fórmulas que estamos empleando hasta ahora [60] y [61], no interviene el factor tiempo, lo cual significa que la misma energía se almacena en el condensador si la carga se efectúa en una millonésima de segundo o en un año. Si hacemos interve-

nir el tiempo, sabremos entonces la *potencia* en vatios. El tiempo t se expresa en segundos, y según lo explicado tendremos:

$$\text{Vatios} = 1/2 \times C \times E^2/t \qquad [62]$$

Si se efectúan N cargas por segundo, encontraremos finalmente:

$$\text{Vatios} = 1/2 \times C \times E^2 \times N. \qquad [63]$$

PROBLEMA 52. — *Una antena emisora tiene una capacidad de 0,001 de microfaradio y emite con una longitud de onda de 600 metros (500.000 períodos por segundo), cargándose a una tensión de 1.500 voltios. ¿Qué potencia almacena?*

Solución. — Aplicando la fórmula [63] hallaremos:

$$\text{Vatios} = \tfrac{1}{2} \times 0{,}000.000.001 \times 2.250{,}00 \times 1.000.000 = 1.125 \text{ vatio}$$

o sea 1 kilovatio con 125 vatios.

Nota. — Obsérvese que la frecuencia la hemos multiplicado por dos.

Cuando tenga que hacer algún cálculo relacionado con circuitos oscilantes y corrientes alternas en general, tenga muy presente que *un condensador se carga y descarga dos veces cada ciclo.* Por consiguiente, debe de multiplicar por dos la frecuencia en períodos por segundo. Como ilustración de lo que acabamos de decir, si un alternador (de alta frecuencia) produce una corriente de 100,000 períodos, al hacer el cálculo de la potencia entretenida o almacenada por un condensador, aplicando la fórmula [63], el valor de N sería 200.000.

Asociación de condensadores. — Las formas de asociar los condensadores que más interés tienen para el radioexperimentador son en *serie* y en *paralelo.*

Se dice que dos o más condensadores están conectados en *serie* cuando están dispuestos como indica la figura 84. En estas condiciones le *capacidad total* es *menor* que la capacidad *más pequeña* del grupo.

En efecto, estando dividida la tensión E del generador entre todos los condensadores, si denominamos E' y E'' a las tensiones de los dos condensadores, tendremos:

$$E = E' + E''; \qquad [64]$$

pero como que anteriormente hemos encontrado [57] que:

$$E = Q/C.$$

tendremos finalmente:

$$Q/C = Q/C' + Q/C'';$$

Dividiendo por Q, tendremos:

$$1/C = 1/C' + 1/C''.$$

PROBLEMA 53. — *Dos condensadores están conectados en serie. Se quiere saber la capacidad equivalente sabiendo que tienen, respectivamente, 2 y 4 microfaradios.*

Solución. — Aplicando la fórmula [65] tendremos:

$$1/C = 1/2 + 1/4;$$

siendo 4 el común denominador mínimo, multiplicaremos por 2 el numerador y el denominador del primer término, o sea 1/2, con lo cual no alteraremos la igualdad y tendremos:

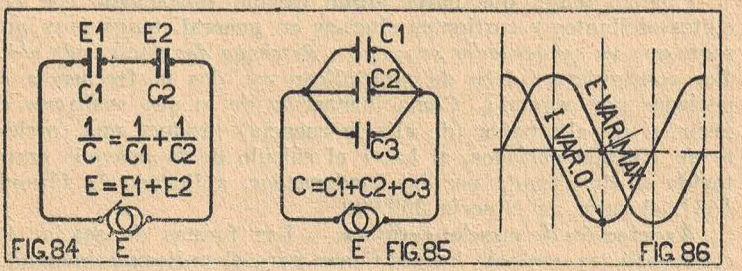
$$1/C = 2/4 + 1/4,$$

efectuando las operaciones indicadas, hallaremos:

$$1/C = 3/4;$$

determinando el valor recíproco, tendremos:

$$C = 4/3 = 1{,}33 \text{ de microfaradio.}$$



Luego, cuando convenga tener una capacidad *más pequeña* que las disponibles, puede obtenerse asociándolas en *serie*, calculándose el valor de la capacidad resultante mediante la fórmula que hemos indicado.

La otra forma de reunir los condensadores se ilustra en la figura 85; en este caso se dice que están conectados en *paralelo*.

Vemos en este caso que todos los condensadores reciben el *mismo voltaje*, y como que las láminas están unidas por una parte y otra, resulta que lo que se hace es aumentar su superficie, y por lo tanto, almacenaremos más electrones.

Según esto, la capacidad total de varios condensadores conectados en paralelo es igual a la *suma* de todas las capacidades que intervienen en el grupo; luego:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad [66]$$

donde C_1, C_2, C_3, etc., representan las capacidades de los condensadores conectados en paralelo, y C la capacidad total.

PROBLEMA 54. — *Tres condensadores, cuyas capacidades respectivas son de 3, 5 y 10 microfaradios, se han conectado en paralelo. ¿Cuál será la capacidad total del sistema?*

Solución. — Aplicando [66], tendremos:

$$C = 3 + 5 + 10 = 18 \text{ microfaradios.}$$

Por lo tanto, cuando se quiera obtener una capacidad *mayor* que cualquiera de varios condensadores reunidos, éstos deben de conectarse en paralelo, indicando la fórmula [66] el valor de la capacidad del grupo.

Reactancia de un condensador. — La corriente efectiva de carga de un condensador es igual a:

$$I = 6{,}2832 \times f \times C \times E; \qquad [67]$$

luego, aplicando la ley de OHM y teniendo en cuenta que Xc representa la reactancia del condensador, tendremos:

$$Xc = E/I \qquad [68]$$

Reemplazando el valor de I dado anteriormente, hallaremos:

$$Xc = E/6{,}2832 \times f \times C \times E;$$

como que E figura en el numerador y el denominador a la vez, dividiendo por E tendremos finalmente:

$$Xc = 1/6{,}2832 \times f \times C; \qquad [69]$$

donde Xc viene expresado en ohmios, C en faradios y f, la frecuencia, en períodos por segundo.

PROBLEMA 55. — *¿Qué reactancia ofrece un condensador de 0,1 microfaradios conectado en un circuito por el cual pasa una corriente de un millón de períodos por segundo (onda de 300 metros de longitud)?*

Solución:

$$Xc = 1/6{,}2832 \times 1.000{,}000 \times 0{,}000{,}001 = 1{,}59 \text{ ohmios} \qquad [69]$$

En este instante es conveniente llamar la atención del lector de que la reactancia de un condensador va *disminuyendo* a medida que *aumenta la frecuencia,* efecto contrario, como vimos en momento oportuno, al producido por una bobina, aunque siempre hay, para la reactancia producida por una capacidad, otra reactancia igual y de signo contrario creada por una bobina (induc-

tancia) y que se neutralizarán mutuamente; esta condición, como veremos más adelante, se denomina *resonancia.*

Al tratar la reactancia de una inductancia [42] demostramos que *la corriente está retrasada* 90 *grados del voltaje,* y ahora vamos a demostrar que *el efecto de un condensador es adelantar la curva de la intensidad de 90 grados a la curva del voltaje.* Una vez esto demostrado, el lector comprenderá el porqué hay que restar estas dos reactancias, puesto que son opuestas en sus efectos. Asimismo comprenderá por qué en la representación vectorial la reactancia de una bobina se indica hacia arriba (los valores positivos) y la de la capacidad hacia abajo (valores negativos) designando la primera como positiva y la segunda como negativa. Finalmente, como que una resistencia no produce cambio alguno en la fase de la corriente con respecto del voltaje, se indica sobre el eje de las *equis* (perpendicular a la anterior). (Vea, al final de esta obra: "Resumen de Matemáticas").

La corriente es máxima en el momento que varía más rápidamente el voltaje y se anula cuando éste pasa por el valor cero. Según esto, si la curva E representa los valores del voltaje, la curva I nos indicará los valores correspondientes de la corriente que pasa en aquel instante. Como que las variaciones de voltaje son máximas al pasar por el valor cero y en este instante la intensidad será máxima, vemos palpablemente que la intensidad va adelantada de 90 grados con respecto al voltaje. Vemos también que cuando el voltaje es máximo, como que las variaciones son muy pequeñas y llega a anularse la variación en este punto, entonces la intensidad será nula (Fig. 86).

Un condensador perfecto, según dijimos anteriormente, no debe dejar pasar a través de su dieléctrico ni un solo electrón; pero, debido a la imperfección de todas las cosas materiales, no es así. Ocasiónanse, por distintos motivos, fugas o escapes, lo cual produce un efecto semejante a si el condensador tuviese conectada una resistencia, y a consecuencia de ello la intensidad I no está exactamente adelantada de 90 grados con respecto del voltaje, sino *algo menos.* Dáse el nombre de "diferencia de fase" a la variación entre 90 grados y el ángulo resultante de tener en cuenta la resistencia ofrecida por el condensador. Es, pues, natural que un condensador perfecto satisfará la condición de estar la corriente 90 grados adelantada del voltaje, y por lo tanto, la diferencia será tanto más grande cuanto más deficiente sea el condensador. El efecto de las pérdidas de un condensador da por resultado elevar su temperatura.

De la misma forma que para calcular la potencia en vatios perdida en un circuito que contiene *inductancia* y *resistencia* tuvimos que tener en cuenta el *factor de potencia,* asimismo hay que

tenerla en el caso de un condensador. En este caso la potencia se expresa por la fórmula:

$$W = E \times I \times \cos. \varphi \qquad [70]$$

Para ilustrar la idea del factor de potencia de un condensador, hagamos referencia a la figura 87, teniendo en cuenta que las pérdidas las consideramos como una resistencia en serie.

Las caídas de potencial en la resistencia y el condensador se indican, respectivamente, en el eje de las *equis* y el de las *íes*. El ángulo φ es el comprendido entre el voltaje y la intensidad, siendo θ la diferencia de fase.

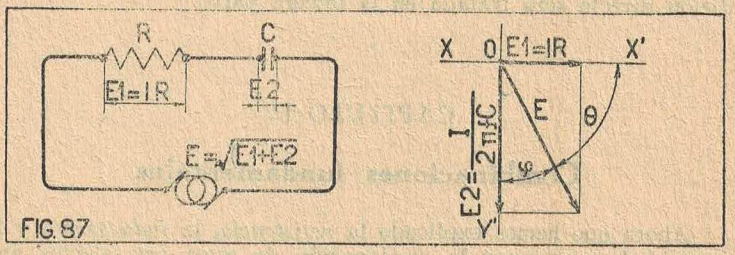


FIG. 87

Téngase muy presente que el ángulo φ es muy pequeño y por este motivo podemos considerar, sin error apreciable, la tangente en vez de su seno y según la figura 87, deduciremos:

$$\text{tag. } \varphi = \frac{I \times R/I}{2\pi \times f \times C} = 2\pi \times f \times C \times R. \qquad [71]$$

PROBLEMA 56. — *Un condensador de 1 milésima de microfaradio está intercalado en un circuito de corriente alterna de radio frecuencia, de un millón de períodos por segundo. Siendo la resistencia, debido a varias pérdidas, equivalente, a dos ohmios, se quiere saber cuál es el ángulo de la diferencia de fase.*

Solución. — Según [71] y dando valores a las letras, tenemos:

$$\text{tag. } \varphi = 6{,}2832 \times 1.000.000 \times 0{,}000{,}000{,}001 \times 2 = 0{,}01256.$$

En unas tablas trigonométricas encontramos que este valor es la tangente de un ángulo de cero grados 43 minutos, aproximadamente. Luego la corriente adelanta al voltaje en un ángulo de 89 grados y 17 minutos.

Obsérvese que un condensador *perfecto* no tiene pérdidas y la corriente adelanta 90 grados al voltaje. Luego, la diferencia de fase significa *pérdida*, siendo del mayor interés reducirlo al mínimo, empleando buenos dieléctricos y soldando cuidadosamente las conexiones de los condensadores.

PROBLEMA 57. — *¿Qué potencia gasta un condensador si aplicándole una tensión de 1.600 voltios acusa una intensidad de 2 amperios y tiene una diferencia de fase de 15 minutos de grado?*

Solución. — Aplicando la fórmula [70] y teniendo en cuenta de que el seno de 15 minutos es igual a 0,00436, tendremos:

$$W = 1600 \times 2 \times 0{,}00436 = 13{,}95 \text{ vatios.}$$

En los buenos condensadores empleados en radio, el ángulo de diferencia de fase no pasa de unos 15 minutos de grado.

Las capacidades pueden calcularse por sus dimensiones geométricas o bien medirlas mediante una corriente alterna. La medición directa será tratada en la tercera parte.

CAPITULO IV

Combinaciones fundamentales

Ahora que hemos explicado la *resistencia,* la *inductancia* y la *capacidad,* trataremos la combinación de estos tres efectos mediante vectores.

L y R en serie. — En este caso la intensidad que pasa a través de la inductancia está *retrasada* 90 grados del voltaje; la intensidad estando siempre en fase con el voltaje de una resistencia (no inductiva), hallaremos, mediante la fórmula de OHM, que la intensidad I será igual a:

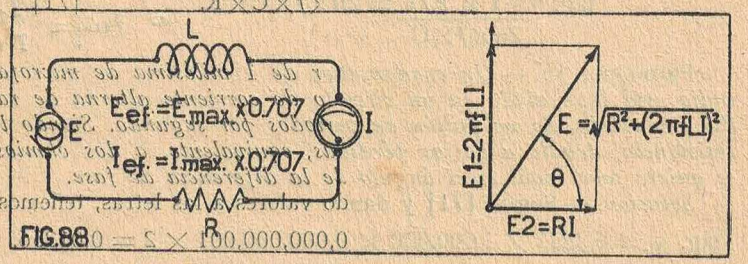


FIG. 88

$$I = E / \sqrt{R^2 + (2\pi f \times L)^2} \qquad [72]$$

El valor del denominador ya vimos [43] que es la *impedancia,* siendo I y E los valores *efectivos* de la intensidad y del voltaje (Fig. 88).

El valor medio de la potencia absorbida por este circuito durante un ciclo es igual a:

$$W = E \times I \times \cos.\ \theta, \qquad [73]$$

siendo θ (léase: teta) el ángulo formado entre los vectores representativos de la intensidad y el voltaje.

La relación:

$$\cos.\ \theta = W/E \times I \qquad [74]$$

se denomina *factor de potencia* del circuito.

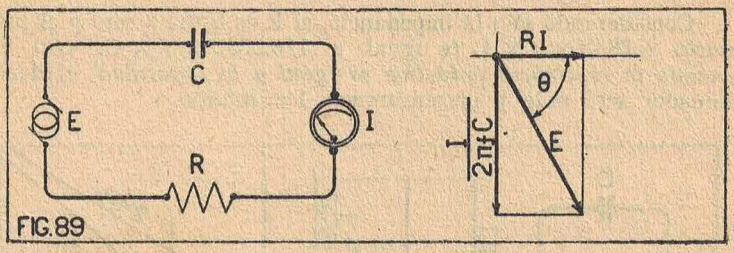


FIG. 89

C y R en serie. — Si recordamos [69] la fórmula que expresa la reactancia de un condensador y aplicamos la ley de OHM, siendo I y E la intensidad y voltaje efectivos, tendremos (Fig. 89):

$$I = E/\sqrt{R^2 + 1/(6{,}2832 \times f \times C)^2} \qquad [75]$$

Luego (véase [79]):

$$\text{tag. } \theta = -1/6{,}2832 \times f \times C \times R^2 \qquad [76]$$

siendo θ el ángulo de fase.

C y L en serie. — Las reactancias de L y C son opuestas, ya que sus intensidades respectivas están retrasada y adelantada 90 grados con respecto del voltaje (Fig. 90).

Las curvas ilustran la oposición de efectos de ambas reactancias; debido a que son de signo contrario, hay un punto en que se anulan mutuamente al cumplirse la condición de ser iguales. Entonces tendremos:

$$X_L = X_C$$

es decir:

$$6{,}2832 \times f \times L = 1/6{,}2832 \times f \times C; \qquad [77]$$

llamada condición de *resonancia*.

En este caso, admitiendo que el circuito no ofrezca resistencia, tendremos según la ley de OHM:

$$I = E/O = \text{intensidad infinita.}$$

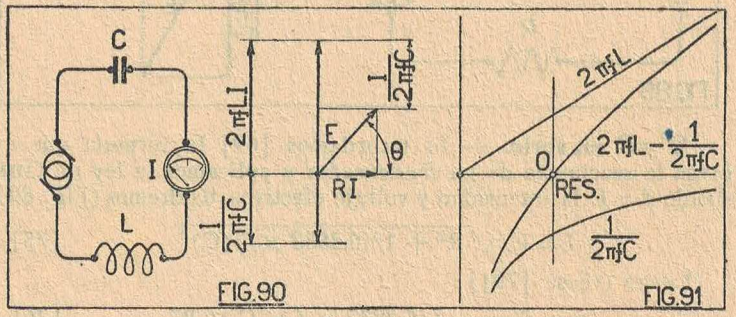
Es preciso indicar que no existe en la práctica ningún conductor que no tenga cierta resistencia y, por consiguiente, la intensidad viene limitada.

C, L y R en serie. — Es el caso práctico de los circuitos de radio, puesto que aunque se compongan de un solo conductor éste posee *resistencia, inductancia* y *capacidad.*

La relación entre la intensidad y voltaje, efectivos, viene dada por la expresión:

$$I = E/\sqrt{R^2 + [(2\pi f \times L) - 1/(2\pi f \times C)]^2} \qquad [78]$$

Considerando sólo la impedancia, si R es igual a cero y el producto $6.2832 \times f \times L$ es igual a $1/6{,}2832 \times f \times C$, esto es, *cuando la reactancia inductiva es igual a la capacidad,* el denominador será nulo y encontraremos I = infinito.



El ángulo de fase en este caso es igual a:

$$\text{tag. } \theta = 2\pi f \times L/R - 1/2\pi f \times C \times R. \qquad [79]$$

La demostración vectorial ilustra este ejemplo (Fig. 91). Obsérvese que cuando la reactancia inductiva no es igual a la capacitativa, el circuito se comporta como si poseyese una reactancia de la cantidad preponderante.

Dada la gran importancia que tiene en radio un circuito con resistencia, inductancia y capacidad en serie, damos a continuación un ejemplo bien concreto.

PROBLEMA 58. — *Un circuito, con una inductancia de 1.000 microhenrios, una capacidad de 0,001 microfaradio y una resistencia de 4 ohmios, están conectados en serie con un alternador. Calcular las reactancias a 100, 1.000, 10.000, 100.000 y 1.000.000 de períodos por segundo, las reactancias resultantes, trazar las curvas y hallar la frecuencia en que se produce la resonancia.*

Solución. — Determinemos, ante todo, la siguiente Tabla que resulta de calcular las reactancias, la inductiva y la capacitativa, mediante las fórmulas [42] y [60]. Tendremos:

PERIODOS	Xl, en ohmios	Xc, en ohmios	Diferencia, en ohmios
100	0,62	— 15915457,00	— 1591545
1.000	6,28	— 159154,57	— 149148
10.000	62,83	— 15915,45	— 15853
100.000	628,32	— 1591,54	— 963
159.154	1000,00	— 1006,00	+ 4
1.000.000	6283,20	— 159,15	+ 6124

Las resistencia de 4 ohmios no vale la pena de tenerla en cuenta, excepto en la resonancia, puesto que en los otros casos no produce efecto notable. Así, en la condición de resonancia,

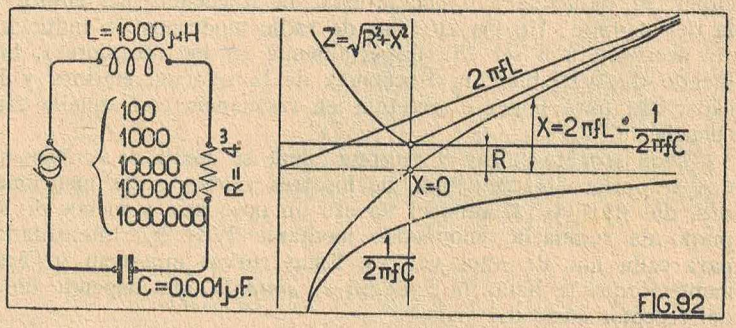


FIG.92

hemos indicado 4, ya que las dos reactancias se anulan por ser iguales y contrarias.

Marcando los valores obtenidos en la tabla sobre papel cuadriculado, tomando desde la línea X X' hacia arriba como valores positivos (reactancias inductivas) y hacia abajo valores negativos (reactancias capacitativas), obtendremos las dos curvas respectivas y una tercera, que es la diferencia de las dos anteriores; una cuarta curva indica la inpedancia Z, que pasa por un mínimo, de valor igual a R, al estar el circuito en resonancia.

Para determinar a qué frecuencia se cumple la condición de resonancia, tengamos presente que entonces debemos tener:

$$2\pi \times f \times L = 1/2\pi \times f \times C; \qquad [77]$$

pasemos f al primer miembro y πL al segundo y tendremos:

$$f^2 = 1/(2\pi)^2 \times L \times C;$$

extrayendo la raíz cuadrada a los dos miembros:

$$f = 1/2\,\pi \sqrt{L \times C}. \qquad [80]$$

Aplicando esta fórmula al caso presente encontramos que f corresponde a casi 159.154 ciclos. Vemos, pues, que para cualquier circuito que contenga L, C y R en serie, existe un valor de capacidad cuya reactancia contrarresta la de la inductancia, y al realizarse esta condición entonces lo único que limita la intensidad de la corriente es la resistencia del circuito. Tanto en los receptores, como en los emisores, se busca de obtener esta condición de resonancia, siendo del mayor interés que coincida con la frecuencia que se quiere emplear, por radiarse o recibirse entonces la máxima intensidad de corriente. Hacer este tanteo se llama *sintonizar* el circuito.

Para tener un circuito en resonancia podemos variar su capacidad, su inductancia o bien ajustar la frecuencia del emisor a la del receptor. En los aparatos de radio modernos, la inductancia acostumbra a ser fija (especialmente en los receptores), habiendo dos variables: la frecuencia de la estación emisora y la capacidad para poner el receptor en resonancia con aquella frecuencia.

Todo aparato emisor y receptor, tiene su *curva de resonancia,* que se obtiene manteniendo, de los tres valores antes mencionados, dos fijos, y variando el tercero un poco más y menos de su punto de resonacia, obteniendo mediante [78] las intensidades para cada uno de estos valores. Estas curvas muestran gráficamente lo que se llama *la agudeza de sintonía,* que depende tanto del receptor como del emisor.

. *La curva tiene un pico tanto más agudo cuanto menor sea la resistencia del circuito.*

La forma práctica de obtener las curvas de resonancia consiste en intercalar, en vez de los auriculares, un termo-amperímetro (o mili o micro, según la intensidad a medir) y manteniendo constante la frecuencia (recepción de una estación) variar la capacidad por valores determinados, conservando invariable la inductancia. De esta manera se obtiene el valor de la intensidad para las distantes longitudes de onda; las curvas afectan la forma de la figura 93. La curva A se ha obtenido intercalando una resistencia de 4 ohmios en el circuito oscilante, el cual está sometido a una tensión efectiva de 20 voltios, es decir, el valor máximo será de $I = V/R$ o sean $I = 20/4 = 5$ amperios. Si volvemos a repetir la misma experiencia, aumentando ahora la resistencia del circuito, (en vez de 4 ohmios supondremos 10), hallaremos para la condición de resonancia: $I = 20/10 = 2$ amperios; variando

la capacidad en la forma anteriormente indicada, obtendremos la curva B. Finalmente, supongamos la resistencia del circuito igual a 20 ohmios; en la condición de resonancia tendremos: $I = 20/20 = 1$ amperio solamente, y para los valores cercanos obtenidos variando, como antes, la capacidad, obtendremos la curva C (figura 93).

Este ejemplo demuestra la conveniencia de disminuir la resistencia de los circuitos cuanto sea posible: aplana la curva de resonancia en una forma extraordinaria. La agudeza de la curva vulgarmente se llama *selectividad* del aparato, aunque, en rigor, este término expresa el cambio de intensidad obtenido al variar una cantidad sumamente pequeña la capacidad o inductancia del circuito cuando está en resonancia. Los aparatos muy selectivos tienen una curva semejante a la A, mientras que los poco selec-

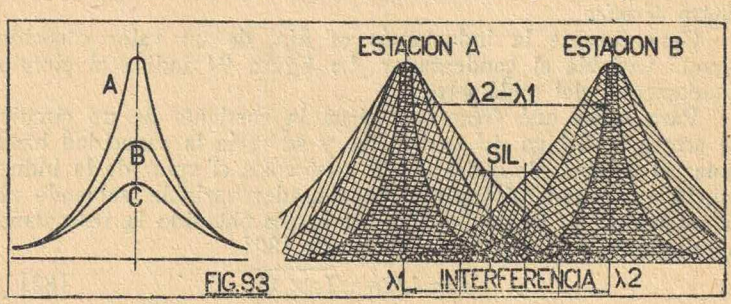


FIG.93

tivos se asemejan a la curva C. En la misma figura 93 indico las curvas de resonancia de dos receptores que reciben respectivamente las emisoras A y B, que transmiten con las ondas $\lambda 1$ y $\lambda 2$. Si ambos rceptores tienen una curva de resonancia muy aguda, hay una zona de silencio, pero si la resistencia aumenta, la curva va siendo cada vez más aplanada y las zonas de interferencia, mayores. Esto demuestra que es preciso estudiar cuidadosamente los circuitos receptores, puesto que el incesante aumento de emisoras hace que la gama disponible, es decir, $f_2 - f_1$, sea cada vez menor.

Los valores de I indicados en las curvas de resonancia pueden determinarse mediante la fórmula [78], debiendo el experimentador tener en cuenta que los aparatos de medición térmicos acostumbran a tener indicados los valores de las intensidades elevados al cuadrado, es decir, no marcan los miliamperios directamente, sino elevados al cuadrado. Téngalo muy presente, en cuyo caso la fórmula mencionada se transforma en esta otra:

$$I^2 = E^2/[R^2 + (2\pi \times f \times L) - 1/(2\pi \times f \times C)^2]. \quad [81]$$

El valor de R representa *todas* las resistencias del circuito, esto es, la del conductor, condensador y bobina. Luego, este procedimiento nos permite medir la resistencia en radio frecuencia.

Una aplicación inmediata del fenómeno de resonancia consiste en saber la frecuencia de un circuito mediante la fórmula [80]. Como veremos más adelante, hay una definida relación entre la frecuencia y la longitud de onda, siendo a causa de ser más empleado el término "longitud de onda" que los aparatos destinados a medir la frecuencia se llaman *ondámetros* en vez de *frecuencímetros*.

Ondámetro. — Es una aplicación práctica de los circuitos en serie. Se compone de una inductancia y una capacidad en serie con un indicador que nos manifiesta cuándo el circuito está en resonancia. El indicador acostumbra a ser un mili o microamperímetro *térmico*.

Generalmente la inductancia es fija, de un valor conocido, siendo variable el condensador. La figura 94 indica el circuito fundamental del ondámetro.

Para saber qué frecuencia tiene la corriente de un circuito se acerca la bobina del ondámetro y se varía la capacidad hasta notar el máximo de deflexión. Si conocemos el valor de la inductancia y tenemos calibrado el condensador variable, sabiendo así la capacidad en la graduación que hemos obtenido la resonancia, averiguaremos la frecuencia mediante [80]:

$$f = 1/2\pi\sqrt{L \times C} \qquad [82]$$

siendo f en períodos por segundo, L en henrios y C en faradios.

Si se prefiere saber la longitud de onda en metros en vez de la frecuencia, entonces aplíquese esta otra fórmula que deduciremos de la velocidad de las ondas electromagnéticas, que como sabemos es de 300.000.000 m. (trescientos millones de metros) por segundo. Es natural que si nuestra corriente tiene sólo un ciclo por segundo, la longitud de onda será de trescientos millones de metros y a medida que aumentemos la frecuencia la longitud de onda disminuirá; luego:

$$\text{Long. de onda} = 300.000.000/\text{Frecuencia} \qquad [83]$$

Si en esta fórmula reemplazamos el valor antes hallado para la frecuencia, tendremos:

$$\lambda = \frac{300.000.000}{1/2\pi\sqrt{L \times C}} \qquad [84]$$

(efectuando la división de un quebrado por otro, considerando que el numerador tiene por denominador la unidad):

$$\lambda = 300.000.000 \times 2\pi\sqrt{L \times C}.$$

λ = longitud de onda, en metros.

Si consideramos a la inductancia expresada en microhenrios y la capacidad en microfaradios, tendremos:

$$\lambda = 300 \times 6{,}2832 \sqrt{L \times C}\ ;$$

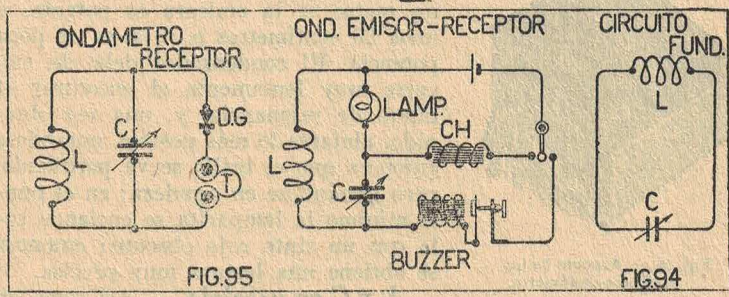
efectuando esta operación, tendremos finalmente:

$$\lambda = 1884{,}96 \times \sqrt{L \times C}\ . \qquad [85]$$

PROBLEMA 59. — *Con un ondámetro cuya inductancia es de 85,4 microhenrios se ha obtenido la resonancia de un emisor al tener el condensador variable a una capacidad de 0,0005 de microfaradio. Se quiere saber la longitud de onda.*

Solución. — Aplicando la fórmula [85], tendremos:

$$\lambda = 1884{,}96 \times \sqrt{0{,}0005 \times 85{,}4} = 390{,}18 \text{ m.}$$



Con este ejemplo numérico el lector ya ve que si tiene el ondámetro calibrado y por consiguiente el condensador, puesto que mediante el cálculo con esta fórmula podemos determinarlo, sabiendo la longitud de onda que recibimos, podremos medir inductancias y capacidades.

Los ondámetros se acostumbra a equiparlos con un procedimiento adecuado que reciban energía periódicamente, poniéndose entonces en oscilación; la frecuencia o longitud de onda se calcula mediante las dos fórmulas que hemos indicado anteriormente. Generalmente esta energía se introduce en el circuito del ondámetro mediante un buzer o zumbador (Fig. 95), transformándose así en radiador de energía; en estas condiciones todo circuito vecino que esté en resonancia con el ondámetro recibirá una fuerza electromotriz que puede ponerse en evidencia mediante un detector y unos auriculares conectados en el circuito.

Como que podemos variar la longitud de onda emitida por el ondámetro, teniendo el detector y los auriculares en el circuito

en estudio observamos en qué punto se oye el zumbido del ondámetro, alejándolo cuanto sea posible, para obtener un punto bien preciso. Entonces ambos circuitos están *sintonizados*, es decir, están ajustados a una misma frecuencia o longitud de onda. Si conocemos la inductancia, o la capacidad, podremos determinar el otro valor (L o C) mediante la fórmula [85].

Respecto a la emisión, el ondámetro más sencillo consiste en intercalar, en serie entre el condensador y la bobina, una lamparita de las empleadas en las lámparas de bolsillo, de unos 3 voltios. Acercando la bobina del ondámetro a la de sintonía del emisor y cuando el ondámetro está en resonancia con éste, la lamparita se enciende con un brillo que depende de la potencia del emisor y distancia del ondámetro a la bobina de sintonía. Es prudente, al principio, no acercarse a menos de un metro si la emisora es potente, y unos 20 centímetros o 30 si es de poca potencia. El condensador debe de moverse muy lentamente al encontrar el punto de resonancia, y, una vez obtenido, alejarse lo más posible, notándose entonces que el brillo se va perdiendo, pero ganándose en agudeza; en el punto mínimo la lamparita se enciende sólo con un tinte rojo obscuro; entonces se obtiene una lectura muy precisa.

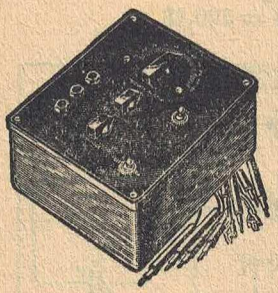


Fig. 96. — Aspecto de un oscilador-ondámetro.

L y C en paralelo — Así como en el caso de L y C en *serie* hemos visto que la corriente es *máxima* en el punto de resonancia, cuando están en *paralelo*, la corriente es *mínima*.

En un circuito en serie, al estar en resonancia, la fuerza electromotriz del condensador es igual y opuesta a la de la bobina, ocasionando un paso de corriente del uno al otro. Por lo que respecta al conjunto (Fig. 97), la fuerza electromotriz E aplicada al circuito producirá una corriente principal I, que al llegar al nudo se bifurcará en dos, una que pasará por el condensador y la otra por la bobina. Cuando el sistema esté en resonancia con la frecuencia del alternador, como que la corriente del condensador será igual y opuesta a la de la bobina ofrecerá al circuito principal una impedancia infinita.

Teniendo en cuenta las elevadas reactancias que se presentan en las frecuencias utilizadas en radio, podemos prescindir de la resistencia de la bobina y deducir de la fórmula [77], la capacidad e inductancia necesarias para construir un filtro que nos impida el paso de una frecuencia determinada.

Según [77], tenemos:

$$L = 1/(6{,}2832 \times f)^2 \times C \qquad [86]$$

y también:

$$C = 1/(6{,}2832 \times f)^2 \times L\,. \qquad [87]$$

PROBLEMA 60. — *Se quiere eliminar una corriente alterna de una frecuencia de 500 períodos, disponiéndose de una inductancia de 25 henrios. ¿Qué capacidad debe de emplearse para construir el filtro?*

Solución. — Según la fórmula [87], tendremos:

$$C = 1/(6{,}2832 \times 500)^2 \times 25 = 0{,}004 \text{ microfaradios.}$$

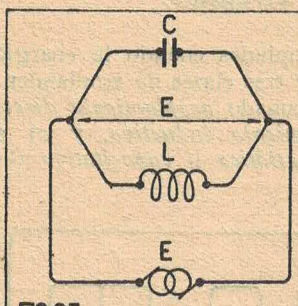


FIG. 97

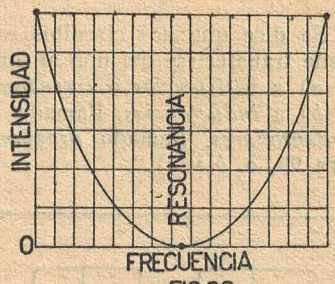


FIG. 98

PROBLEMA 61. — *Se quiere construir un filtro para eliminar el silbido de un super-regenerativo que tiene una frecuencia de 10.000 períodos por segundo. Disponemos de un condensador de 5 microfaradios; queremos saber qué inductancia debemos emplear en la construcción del filtro.*

Solución. — Utilizando la fórmula [86], hallaremos:

$$L = 1/(6{,}2832 \times 10.000)^2 \times 0{,}000.005 = 50{,}66 \text{ microhenrios.}$$

Tenga presente el lector que se puede elegir arbitrariamente el valor de L o C, según los elementos que dispongamos.

Nuevamente insisto en recordar que no he tenido en cuenta la resistencia del circuito. Lo he hecho para simplificar los cálculos y, por otra parte, a las frecuencias utilizadas en radio que las reactancias son de millares de ohmios, se comete un error prácticamente desprciable al no tener en cuenta los pocos ohmios, o fracción de un ohmio, que puede ofrecer el circuito).

Los filtros se emplean en todos aquellos casos que quiere evitarse el paso de una frecuencia indeseable, siendo a veces necesario elaborar de mucho más complicados que el descrito.

Para tener una idea de cómo impide el paso de la corriente un filtro intercalado en un circuito de corriente alterna, indicamos en la figura 98 los valores de intensidad obtenidos en unas mediciones, manteniendo constante la frecuencia y la inductancia y variando la capacidad. El valor mínimo es la condición de resonancia del filtro con la frecuencia del alternador.

CAPITULO V

Acoplamientos de circuítos

Se dice que dos circuitos están acoplados cuando la energía puede transferirse del uno al otro. Hay tres clases de acoplamiento: *a*) a *resistencias* o *impedancias,* llamado *acoplamiento directo; b*) a *inductancias,* llamado *acoplamiento inductivo,* y *c*) a *condensadores,* llamado *acoplamiento estático* o *capacitativo* (figura 99, *a, b* y *c*).

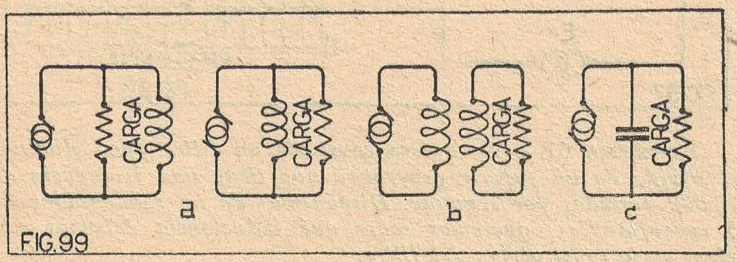


FIG. 99

El acoplo de dos circuitos se expresa cuantitativamente por el *coeficiente de acoplamiento.* Este coeficiente es la relación entre la reactancia común de los dos circuitos y la raíz cuadrada del producto de las reactancias de los circuitos, separados:

$$k = Xm/\sqrt{X_1 \times X_2} \qquad [88]$$

siendo k el coeficiente de *acoplamiento,* Xm la reactancia mútua y X_1 y X_2 las reactancias respectivas de los circuitos. A medida que el acoplamiento disminuye, el valor de la intensidad del secundario primero aumenta, pasa por un máximo y luego tiende hacia cero.

A las elevadas frecuencias que se emplean en radio la capacidad de los devanados es necesario tenerla en cuenta, pues su-

cede como si el primario y el secundario formasen las dos placas de un condensador.

Para explicar los circuitos acoplados, daré algunos ejemplos, indicando en cada caso su coeficiente de acoplamiento *k*.

Se denomina *primario* el circuito que crea la variación de voltaje y *secundario* el que la recibe, transferida, por uno de los tres sistemas antes indicados. Se dice que el acoplamiento es *muy flojo* cuando el valor de *k* varía de 0 a 0,2; *flojo*, cuando está comprendido entre 0,2 y 0,4; *fuerte*, cuando está comprendido entre 0,4 y 0,8, y *muy fuerte*, cuando llega a alcanzar el valor de la unidad.

Luego, el valor de *k* varía de 0 a 1.

Para comprender claramente lo que representa el valor de *k* supongamos que tenemos dos circuitos, primario y secundario, alimentado el primero con corriente alterna.

Desde luego que en el primario circulará una corriente que cambiará de sentido a cada medio ciclo, creando un campo magnético que al cortar las líneas de fuerza del secundario inducirá en él un voltaje en sus terminales que producirá un paso de corriente. Al conjunto de líneas de fuerza producidas por el campo del primario se le llama *flujo magnético*, que no todo se aprovecha cortando las espiras del secundario, sino que parte se pierde; se denomina *flujo mútuo* al que se aprovecha en el secundario, pudiendo variar desde 0 a 1, según si no se utiliza *ninguna* o *todas* las líneas de fuerza: este valor es el que se denomina *k*. Una vez conocido *k* sabremos entonces el flujo que se pierde, puesto que ambos reunidos son igual a la unidad.

Para calcular *k* es necesario, primero, determinar el valor de M, de lo cual nos ocuparemos al tratar las mediciones en la parte tercera. Suponiendo que mediante mediciones hemos determinado el valor de M, ilustraré ahora con ejemplos el empleo de la fórmula [88].

PROBLEMA 62. — *Un transformador ofrece una inductancia de 0,16 milihenrios en el primario y 4 milihenrios en el secundario. Si su inducción mútua es de 0,2 milihenrios, cuál es el coeficiente de acoplamiento de este transformador.*

Solución. — Utilizando [88] y haciendo referencia a la figura 100, tendremos:

$$k = 0{,}2/\sqrt{0{,}16 \times 4} = 0{,}2/0{,}8 = 0{,}25.$$

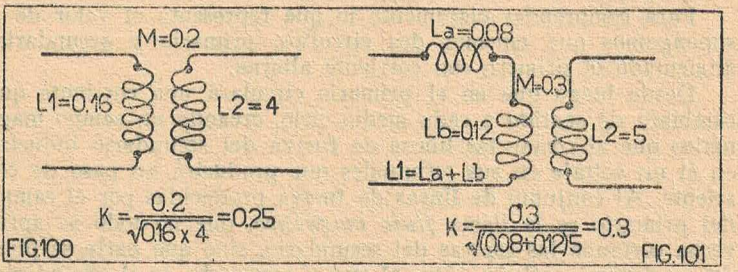
Luego el acoplamiento es relativamente *flojo*.

El caso que acabamos de estudiar es el más sencillo que puede presentarse, puesto que casi siempre una inductancia no se encuentra sola, sino reunida con otras. Por esto la fórmula [88]

es general, pues abarca todos los casos posibles desde el momento en que tiene en cuenta las reactancias, sean éstas producidas por capacidades o por inductancias.

Aplicando lo explicado, supongamos que en el primario conectamos en serie otra inductancia, y recordando que dos inductancias en serie se suman, averigüemos su coeficiente de acoplamiento.

PROBLEMA 63. — *En serie con el primario de un transformador que tiene una inductancia de 0,12 milihenrios, se conecta una inductancia de 0,08 milihenrios. Sabiendo que el secundario tiene una inductancia de 5 milihenrios y el coeficiente de acoplamiento es de 0,3 milihenrios, determinar el valor de k.*



Solución. — Utilizando la fórmula [88] y teniendo en cuenta los valores de la figura 101, tendremos:

$$k = 0{,}3/\sqrt{(0{,}08 + 0{,}12) \times 5} = 0{,}3/1 = 0{,}3.$$

Aunque este acoplamiento es *flojo*, tiende ya bastante a poderse considerar como *algo fuerte*. Este acoplo sería excesivo para un acoplamiento de antena de un receptor.

Consideremos ahora un caso más complejo: cuando el primario y el secundario tienen inductancias en serie.

PROBLEMA 64. — *El primario de un transformador ofrece una inductancia de 1,5 milihenrios y tiene conectado en serie otra inductancia de 2,5 milihenrios. El coeficiente de acoplamiento es de 2 milihenrios. Si la inductancia del secundario es de 2,2 milihenrios y éste tiene en serie otra inductancia de 0,8 milihenrios, se quiere saber el coeficiente de acoplamiento k.*

Solución. — Empleando la fórmula [88] y haciendo referencia a la figura 102, tendremos:

$$k = \frac{2}{\sqrt{(2{,}5 + 1{,}5) \times (0{,}8 + 2{,}2)}} = \frac{2}{\sqrt{4 \times 3}} = \frac{2}{3{,}4} = 0{,}58.$$

Este ejemplo da una idea de un caso muy frecuente en la práctica. El acoplamiento es *fuerte*.

Un fenómeno de interés fundamental de los circuitos acoplados es que dan lugar a dos frecuencias, f' y f'', provocadas por las reacciones de un circuito con el otro. Lo que sucede es lo siguiente: el circuito primario, al inducir en el secundario un voltaje, crea una corriente, la cual, a su vez, induce un voltaje al primario. Este voltaje inducido en el primario da origen a una corriente, más débil, desde luego, que la primera. Como que el acoplamiento podemos variarlo separando las bobinas, en los acoplamientos flojos la corriente de reacción puede no afectar al primario y entonces los dos circuitos vibran a su *frecuencia propia*.

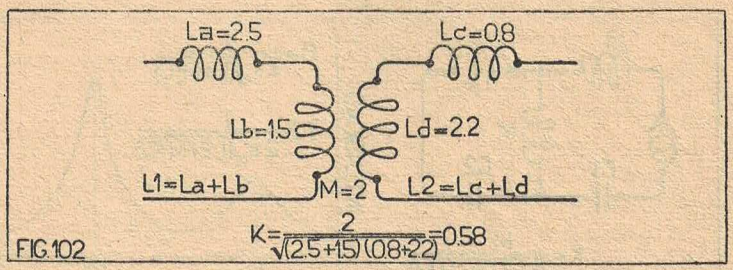


FIG.102

Si el acoplamiento es algo fuerte, la reacción es considerable, existiendo dos frecuencias f' y f'', diferentes de $f1$ y $f2$ en que la reactancia es cero en ambos circuitos, entendiendo por $f1$ la frecuencia natural del primario, $f2$ la del secundario, f' la frecuencia del primario en que la reactancia es cero debido a acoplamiento, y f'' la frecuencia en que por la misma causa es cero la reactancia del secundario. Cuando el acoplamiento es flojo, $f1$ es casi igual a f' y $f2$ a f''.

Tenga presente que cuando el acoplo se obtiene mediante bobinas podemos disminuir k bien alejándolas o variando el ángulo de sus ejes. Estos ejemplos los tenemos en el acoplamiento de las bobinas de un receptor.

Dados los valores de los componentes del primario y secundario, podremos calcular $f1$ y $f2$ mediante la fórmula [80], puesto que son las frecuencias naturales de estos dos circuitos considerados *muy separados*, es decir, $k = 0$. Las frecuencias resultantes las indicamos en los diagramas, permitiendo así calcular los dos máximos de corriente. Según esto, así como en el caso de un circuito en serie obtuvimos una curva de resonancia con un *pico* máximo, ahora tendremos dos.

En la mayoría de los casos, los circuitos de radio tienen el

primario y el secundario sintonizados a la misma frecuencia, es decir, $f1 = f2$; naturalmente, en estas condiciones la transferencia de energía será máxima para aquella frecuencia; sin embargo, aun estando el primario y el secundario así sintonizados, habrán dos frecuencias, f' y f'', en las que la reactancia será nula. En el caso que estamos estudiando, siendo $f1 = f2$ y k el coeficiente de acoplamiento, las frecuencias resultantes serán:

$$f' = f_1/\sqrt{1+k} \qquad [89]$$

$$f'' = f_2/\sqrt{1-k}. \qquad [90]$$

Si ahora vamos disminuyendo el acoplamiento hasta hacerlo muy pequeño, f' y f'' se aproximarán a $f1$ y $f2$, tendiendo los

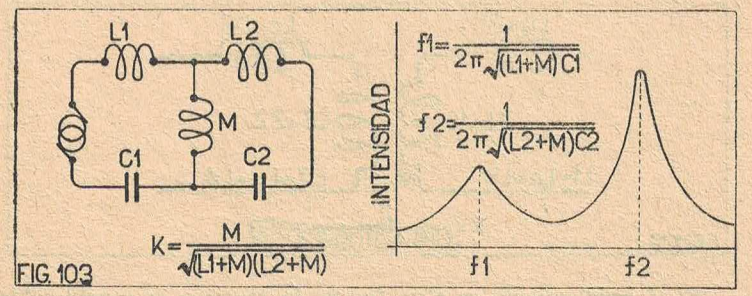


FIG. 103

dos picos a unirse, y llega un punto en que prácticamente así sucede. En efecto, en las dos fórmulas anteriores cuando k tiende hacia cero, el denominador tiende a su vez hacia la unidad, en cuyo caso se verificará: $f' = f_1$ y $f'' = f_2$. El lector ya sabe los resultados obtenidos en estas condiciones respecto a la *selectividad*.

Para tener una idea del efecto de estas dos frecuencias al acoplar circuitos, analizaremos uno de los ejemplos más frecuentes.

Si el acoplamiento es efectuado por medio de una impedancia (Fig. 103), que constituirá M, es decir, en este caso el valor de la inducción mútua lo representa la bobina M. Digamos, de paso, que es posible reemplazar un transformador por una bobina, como en este caso, siempre que ésta tenga un valor igual a la inductancia mútua entre el primario y secundario.

El acoplamiento k viene dado por la expresión:

$$k = M/\sqrt{(L_1 + M) \times (L_2 + M)}. \qquad [91]$$

Las dos frecuencias, $f1$ y $f2$, del primario y secundario, serán:

$$f1 = 1/2\pi\sqrt{(L_1 + M) \times C_1}, \qquad [92]$$

$$f2 = 1/2\pi\sqrt{(L_2 + M) \times C_2}. \qquad [93]$$

Las curvas indican los valores de $f1$ $f2$, acercándose hacia la curva única a medida que el acoplamiento va siendo más flojo.

Si se trata de un transformador y la frecuencia del primario es igual a la del secundario y k se acerca al valor cero, entonces f' es casi igual a f'', siendo $F = f1 = f2$ (Fig. 104).

Este efecto se aplica a todos los casos de acoplamiento.

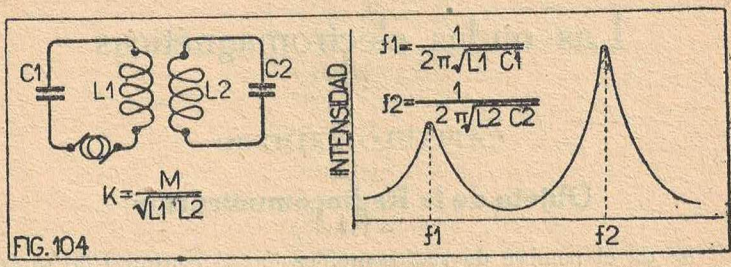


FIG. 104

La figura 106 indica en la forma que varía k al cumplirse la condición de tener el primario y el secundario sintonizados a la misma frecuencia. Si el primario y el secundario no están sintonizados, entonces resultan las curvas de la figura 105, siendo $f1$ la frecuencia del primario y $f2$ la del secundario.

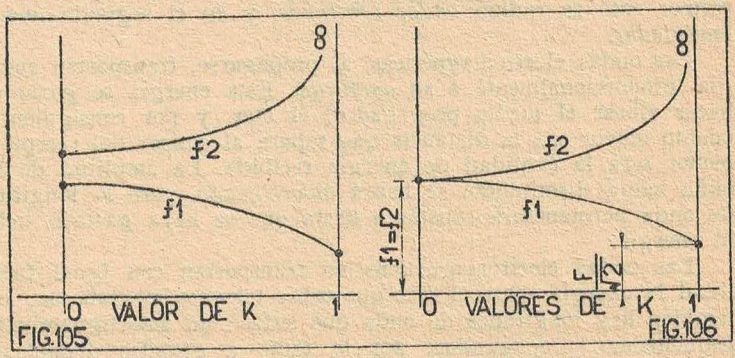


FIG. 105 FIG. 106

El valor límite de la frecuencia menor f' viene dado por la fórmula [89] haciendo $k = 1$:

$$f' = f_1/\sqrt{2},$$

El de f'' tiende hacia un valor infinito [90] haciendo también $k = 1$:

$$f'' = f_1/\sqrt{1 - 1} = f_1/0 = \text{infinito}.$$

PARTE TERCERA

Las ondas electromagnéticas

CAPITULO PRIMERO

Objeto de la Radiocomunicación

Se da el nombre de radiocomunicación al conjunto de procedimientos empleados para comunicar la inteligencia mediante las ondas electromagnéticas.

Estas ondas se crean en la antena emisora al ser recorrida por una corriente alterna de radio frecuencia. La corriente generadora de las ondas puede ser de amplitud constante o bien de una amplitud proporcional a una frecuencia más baja; en el primer caso se radían *ondas continuas,* y en el segundo *ondas moduladas.*

Las ondas electromagnéticas, al propagarse, transportan energía, proporcionalmente a su *amplitud.* Esta energía se *gasta* al hacer vibrar el medio propagador, el éter, y por consiguiente, cuanto mayor sea la distancia que separa al emisor del receptor, menor será la cantidad de energía recibida. La amplitud de la onda habrá disminuído, se habrá *amortiguado,* pero la longitud de onda permanecerá constante hasta que se haya gastado toda la energía.

Las ondas electromagnéticas no transportan con igual facilidad la energía sobre el mar que sobre terrenos montañosos; así también hay longitudes de onda que sufren un amortiguamiento pequeñísimo, propagándose por lo tanto a grandes distancias, mientras que hay otras longitudes de onda que solamente se propagan a distancias muy pequeñas.

La energía recibida a una determinada distancia del emisor es infinitamente pequeña comparada con la que se envía a la antena emisora y, por consiguiente, es del mayor interés disponer de los medios más adecuados para aprovechar esta energía y hacer que actúe en el aparato que finalmente nos la pone de manifiesto: altavoz, galvanómetro, etc.

Luego, la radiocomunicación estudia los procedimientos que permiten transformar la corriente eléctrica en ondas electromagnéticas mediante un conjunto de aparatos que se denominan *estación emisora;* establece luego fórmulas para determinar las *leyes de la propagación* de esta energía, y, finalmente, estudia otro conjunto de aparatos destinados a transformar en signos o sonidos las ondas captadas.

Las ondas electromagnéticas. — Toda corriente alterna crea alrededor del circuito un *campo magnético,* según explicamos anteriormente. Este campo magnético no es sencillo, sino compuesto de un *campo inductivo* y un *campo radiativo.*

El campo radiativo aumenta con la frecuencia. Debido a esto, es prácticamente despreciable en las corrientes industriales de unos 50 períodos, pero *existe,* por débil que sea.

El campo inductivo es la base de todos los fenómenos de la inducción (transformadores, etc.) y en él se fundan todos los fenómenos de las corrientes de baja frecuencia.

Ya explicamos que dos bobinas situadas a pequeña distancia, la una induce cierta variación de corriente a la otra. Esta propiedad puede aprovecharse para comunicarse a pequeñas distancias, muy pqueñas, puesto que el campo inductivo disminuye con el *cubo* de la distancia que separa los dos circuitos.

El campo inductivo, creado por una antena recorrida por una corriente alterna, varía con el *cuadrado* de la distancia y, finalmente, el campo radiativo decrece proporcionalmente a la *distancia.* Según esto, la intensidad del campo inductivo de una bobina a *diez* kilómetros es la *milésima* parte de la intensidad que tiene a un kilómetro; la intensidad del campo inductivo de una antena a la misma distancia de 10 kilómetros es la *centésima* parte de la que tiene a un kilómetro, y, finalmente, el campo radiativo es a 10 kilómetros la *décima parte* que el campo creado a un kilómetro de distancia: esta es la causa porque se transmiten a gran distancia las señales de la radio.

Ahora que hemos apreciado con cifras estas diferencias, digamos que el campo radiativo, o de radiación, se propaga bajo la forma de ondas constituídas por un campo *eléctrico* y otro *magnético,* que viajan juntos, perpendicularmente dispuestos. Debido a su doble composición, se las llama *ondas electromagnéticas.*

La bondad que tienen de propagarse en tan favorables condiciones aumenta al saber que viajan a una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, con una ventaja enorme: no se propagan en línea recta, sino *siguiendo el contorno de la Tierra.*

Eso es debido a que su propagación, si bien es cierto que es recta, sufre muchos cambios de dirección motivados por sus mismas propiedades. Producidas a poca altura del nivel del suelo,

estas ondas se esparcen, alrededor de la antena, en el espacio libre. Estas ondas son *desviadas* por los medios más o menos refractores que encuentran en su camino; los cuerpos conductores, cuanto más perfectos son, menos las absorben, pero facilitan su propagación, orientándolas. Ahora bien, como que la superficie de la tierra es un conductor más o menos perfecto (rocas, terrenos secos, etc.) y el mar es un excelente conductor, resulta que se propagan a mayor distancia sobre el mar desde el momento en que sufren menos *absorción*. Por otra parte, la capa superior de la atmósfera, a unos 100 kilómetros de altura, está *ionizada*, debido al efecto del Sol (capa de HEAVISIDE), pudiéndose considerar como a una lámina perfectamente conductora que envolviese a nuestro planeta. Todo sucede, pues, como si estas ondas se propagasen en un espacio comprendido entre dos esferas concéntricas, conductoras y, por lo tanto, son conducidas por una serie de reflexiones alrededor de la Tierra.

Hemos visto que el campo de radiación aumenta con la frecuencia; para fijar esta idea con números diré que el campo radiativo de una onda de 200 metros es 25.000 veces más fuerte que el campo radiativo creado por un alternador de 60 períodos.

Si suponemos que las ondas se propagan sin sufrir pérdidas por absorción, el voltage que inducirán en una antena receptora, por cada metro de altura efectiva, viene determinado por la expresión:

$$\mathcal{F} = 377 \times (h \times I/\lambda \times d) \qquad [93 \text{ bis}]$$

donde h representa la altura efectiva de la antena emisora (vea página 112); I la intensidad, en amperios, de la emisora; d la distancia, en metros, que separa el emisor del receptor, y λ la longitud de onda en metros.

Si se sabe la potencia, en kilovatios, que transmite una emisora, entonces podremos calcular el voltage inducido por medio de la expresión:

$$\mathcal{F} = (300 \times \sqrt{KW})/d. \qquad [93 \text{ ter.}]$$

donde Kw representa la potencia en kilovatios y d la distancia, en metros.

PROBLEMA 65. — Una emisora radia 100 Kw. con una antena de 100 m. de altura efectiva, con una onda de 5.000 metros. Se pregunta cuál será el campo, en microvoltios, por metro, a una distancia de 100 Kms., suponiendo que no hay efectos de absorción.

Solución. — Como que sabemos la potencia, podemos resolver el problema empleando la fórmula [93 ter.], en cuyo caso tendremos:

$\mathcal{F} = 300 \times \sqrt{Kw/d}$

$\mathcal{F} = 300 \times \sqrt{100/100} \times 1.000 = 3/100$ en voltios por metro.

$\mathcal{F} = 3 \times 10.000 = 30.000$ microvoltios por metro.

Las ondas, según su longitud, se clasifican en *largas* (a partir de mil metros), *medias* (de 300 a 999 m.), *cortas* (de 30 m. a 200 metros) y *extracortas* (desde 3 a 30 m.). En muchos casos se consideran como ondas cortas las inferiores a 300 m. y en otros casos a 200 metros.

Según su longitud las ondas se propagan de muy distinta manera. Es así que se comprueba que las ondas de más de mil metros de longitud se propagan bien, tanto de día como de noche, y, en consecuencia, fueron las que se utilizaron con preferencia en las grandes emisoras telegráficas antiguas de prensa transoceánicas. La gama de ondas comprendida entre 300 m. y 600 m. se consideró particularmente buena por su estabilidad de propagación, aunque durante la noche se amortigüen menos que durante el día.

Las ondas extra-cortas, de menos de 30 m., se comportan no sólo en una forma completamente distinta que las de la gama 250-650 metros, sino que estas variaciones se ven afectadas según la longitud de onda empleada en la comunicación.

Se ha observado que la recepción de las ondas inferiores a 25 m. es mejor durante el día que de noche y que en cambio las ondas de más de 50 m. se comportan en una forma completamente inversa. En las ondas inferiores a 20 m. se ha comprobado que es necesario que transmisor y receptor estén funcionando en horas de día, de lo contrario, salvo raras excepciones, la comunicación no puede efectuarse. En fin, para recibir satisfactoriamente la gama de ondas comprendida entre 20 y 35 m. es necesario que una de las dos estaciones, el transmisor o el receptor, estén situadas en un lugar que sea de noche.

Las ondas extra-cortas se propagan en las mejores condiciones durante los meses de verano, mientras que las ondas de más de 50 metros de longitud alcanzan su propagación máxima en los meses de invierno.

Según lo explicado, vemos bien claramente que es necesario tener en cuenta las horas de las distintas naciones y continentes para saber, según la gama de ondas que se quieren recibir, si la recepción se efectuará en buenas condiciones; así, por ejemplo, vemos que cuando en Londres es la una de la madrugada son las ocho de la noche en Nueva York y las nueve de la mañana en Australia, es decir, que la gama de 20 a 35 m. se propagará

bien entre Australia y Europa o América; en cambio, la gama inferior a 20 m. se propagaría mal.

Los parásitos afectan en una forma muy distinta a las ondas extra-cortas. Es así que se comprueba prácticamente que los estáticos de origen atmosférico casi no afectan esta clase de recepciones, mientras que los de origen industrial (motores, timbres, letreros luminosos, etc.) influyen la recepción con mayor intensidad que la gama superior a 250 m.

Los diversos fenómenos que hemos enumerado referentes a la propagación de las ondas se explican satisfactoriamente con la teoría de Heaviside, según la cual nuestro planeta está envuelto con una especie de superficie conductora, formada de partículas ionizadas por la acción de los rayos solares. La altura de esta capa varía según las horas del día o de la noche, y, en consecuencia, como que las ondas se reflejan en esta superficie, al variar su altura, el rayo reflejado alcanza una distancia más o menos grande. Según esto, es evidente que en un sitio cercano a la emisora sólo recibiremos la onda directa mientras que para recibir la onda reflejada será preciso alejarnos hasta donde esta onda empiece a alcanzar la superficie de la tierra. El espacio comprendido entre el límite de la onda directa y la onda reflejada se denomina *zona de recepción nula.* La Tabla siguiente resume las innumerables experiencias que se han efectuado en Europa y América durante estos últimos años:

Long. de onda en mts.	Onda directa Kms.	ONDA REFLEJADA			
		VERANO		INVIERNO	
		medio día Kms.	media noche Kms.	medio día Kms.	media noche Kms.
100	140	90	900	150	4000
50	110	150 - 300	400 - 7500	300 - 900	600 - inf.
30	90	300 - 1100	1500 - inf.	750 - 3000	2000 - »
25	75	450 - 1500	2200 - »	900 - 4500	3000 - »
20	40	600 - 3000	4000 - »	1300 - 6000	nula
15	25	1000 - 6000	nula	2200 - inf.	»

Los aparatos receptores colocados en la zona de la onda directa, recibirán las emisiones a todas las horas y en todas las épocas del año, sin variación alguna, excepto en los casos que los accidentes topográficos o la proximidad de edificios metálicos actúen como una *cortina,* pues es preciso tener en cuenta que las ondas extra-cortas se comportan como las ondas luminosas y esto tanto más cuanto más corta sea su longitud.

Según la Tabla vemos bien claramente la causa de las fluctuaciones en la recepción de las ondas cortas, puesto que a las

distintas horas varía la distancia donde empieza a recibirse la onda reflejada. Como un ejemplo de la interpretación de la Tabla supongamos que nuestro receptor está instalado en Barcelona, que estamos en pleno verano y recibimos una onda de 25 m. de una emisora situada a 1.500 kilómetros de distancia: sintonizamos la emisión y dejamos el aparato funcionando. Observamos, a medida que va avanzando la tarde, que la recepción va disminuyendo de intensidad y claridad, para desvanecerse casi completamente alrededor de las ocho de la noche, siendo la recepción totalmente nula a medianoche, porque entonces la onda reflejada empieza a los 2.200 kilómetros.

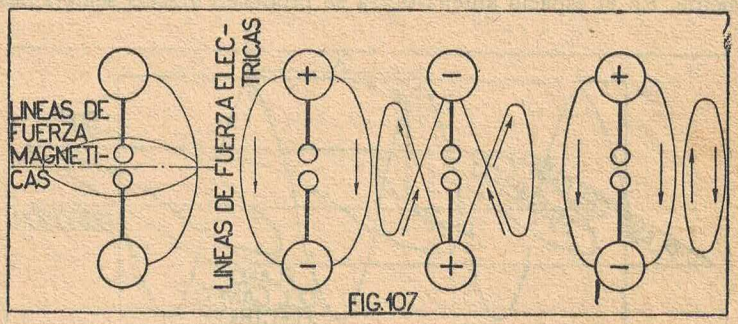


FIG. 107

El *éter*, este flúido hipotético, al cual se le atribuyen un sin fin de propiedades debido a que no pueden explicarse de otra manera, es el medio que propaga las vibraciones u ondas electromagnéticas, portadoras de la energía empleada en la radiocomunicación. El éter se encuentra en todas partes, tanto en los espacios planetarios como en los moleculares, siendo a causa de esta propiedad que las ondas electromagnéticas pasan a través de las paredes y, en general, de todos los cuerpos no conductores; al encontrar un cuerpo conductor, las desvía, *sin penetrar* en él; por esta causa los submarinos necesitan salir a flote o que la antena sobresalga del mar para comunicar por radio, puesto que el agua, excelente conductor, permite que se deslicen sobre su superficie las ondas electromagnéticas, sin dejarlas penetrar.

Formación de las ondas. — Explicamos, al tratar la capacidad, que un condensador, cargado, forma un campo cuyas líneas de fuerza van dirigidas desde la placa cargada positivamente a la placa cargada negativamente. Estas líneas de fuerza tienen una *tensión* en su longitud, existiendo una *presión* lateral, perpendicularmente situada, que tiende a separarlas.

La demostración de la manera como se forman las ondas

electromagnéticas se ilustra en la figura 107, mediante el llamado *oscilador* de HERTZ. Según veremos, *una antena es un condensador* y las líneas de fuerza mencionadas anteriormente existen también en este caso.

Si aplicamos una tensión eléctrica alterna que sea capaz de vencer la resistencia del espacio que separa a las dos esferitas, se establecerá un paso de electrones entre ellas (del negativo al positivo): la línea de fuerza más cercana alcanzará a la esferita negativa, cruzándose al medio ciclo siguiente los extremos de las líneas de fuerza. Se cambia la polaridad y se vuelve a repetir el mismo fenómeno, formando otra media onda, y así sucesivamente. En el espacio antena-tierra se producen efectos semejantes.

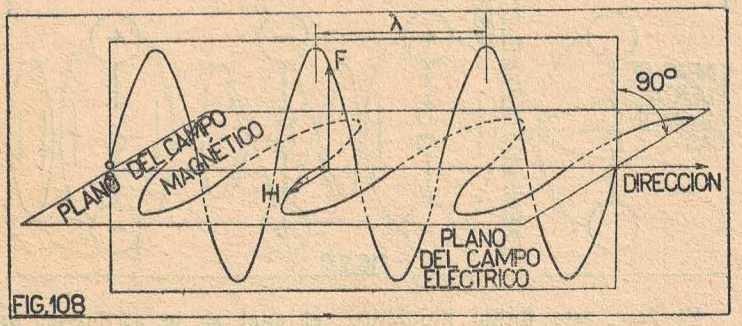


FIG.108

El campo magnético, según dijimos, es perpendicular al campo eléctrico, disminuyendo el uno a medida que aumenta el otro; cuando el campo magnético es máximo, el eléctrico es nulo, y así sucesivamente, disminuyendo los dos a medida que se propagan por el espacio. (Fig. 108).

La formación de las ondas mediante el oscilador de HERTZ no es exactamente igual a como se ha explicado en el caso de producirse con una antena y conexión a la tierra. En una antena sólo se produce la mitad superior, afectando la forma de la fig. 109.

Lo que dijimos anteriormente de que las ondas siguen el contorno de la Tierra, conducidas, podríamos decir, entre dos esferas concéntricas, se ilustra en la figura 110; la esfera exterior es la capa de HEAVISIDE y la interior la superficie de la Tierra. Podemos admitir que ciertas líneas de fuerza perpendiculares a la superficie de la Tierra (campo eléctrico) y líneas situadas sobre ella (campo magnético) pasan alrededor de todos los puntos de nuestro planeta al transmitir una emisora. Luego, en una antena vertical, al pasar las ondas, su campo eléctrico variable inducirá

un voltaje alterno cuyo valor variará entre el extremo libre de la antena y su conexión a tierra. En vez del efecto del campo eléctrico de la onda podemos ver el del campo magnético; siendo éste variable, inducirá un voltaje, de acuerdo con sus variaciones, a todo conductor que encuentre perpendicularmente colocado a su dirección de propagación (vertical).

Todo oscilador necesita poseer capacidad e inductancia, la frecuencia a que oscila, estando determinada por la fórmula ya conocida [80]. Como que podemos obtener la capacidad con una antena aérea y la inductancia con una antena de cuadro, resulta que hay dos sistemas fundamentales para crear y recibir las ondas electromagnéticas: el de la antena aérea, llamado *abierto*

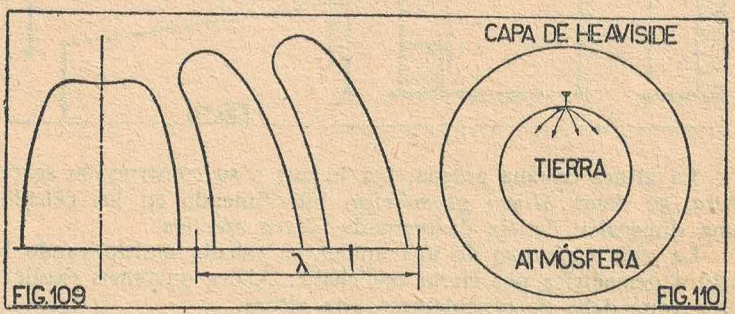


FIG.109

FIG.110

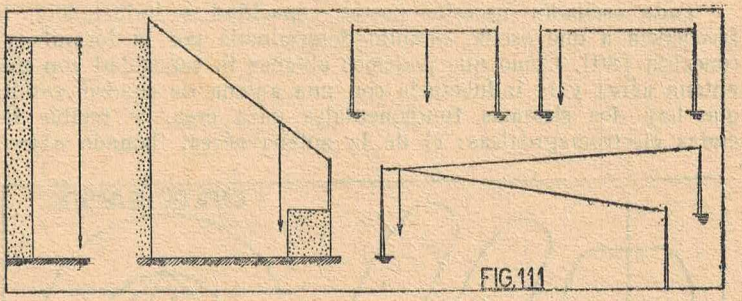
y sintonizado por una inductancia, y el de la antena de cuadro, llamado *cerrado,* que se sintoniza mediante un condensador.

Los circuitos abiertos radían mejor la energía, pero tienen el inconveniente de dirigirla en todos sentidos; en cambio los circuitos cerrados la dirigen en el sentido del plano del cuadro. Debido a esto, cuando se quieren aprovechar las propiedades direccionales se usa, tanto en la emisión como en la recepción, una antena de cuadro. Estas propiedades se utilizan para transmitir la energía con preferencia en cierta dirección. Mediante medidas exactas, permite determinar la posición de un transmisor (buque en alta mar, aviones, etc.), mediante un sencillo problema de triangulación; esta especialización se denomina *Radiogoniometría.*

Luego, podemos radiar energía bajo la forma de ondas electromagnéticas, mediante antenas aéreas y cuadros; en este último caso se radia y recibe menos, pero siendo mayor la cantidad de energía recibida en aquella dirección privilegiada se compensa el inconveniente.

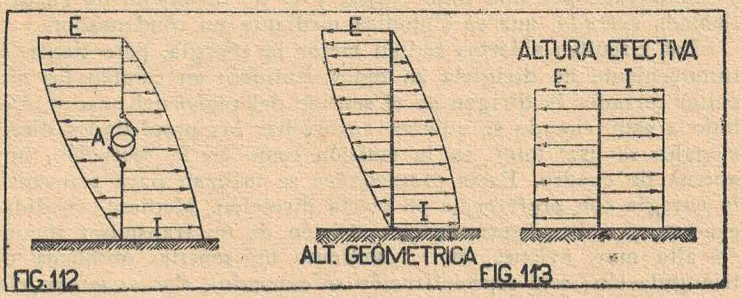
La antena aérea. — Se denomina así a un hilo o sistema de hilos, situados en el espacio, perfectamente aislados de todo contacto con tierra.

Según el número de hilos se clasifican en *unifilares, bifilares, trifilares,* etc., y respecto a su forma, en *vertical, inclinada,* en *V,* en *T,* en *L invertida, abanico, prisma,* etc., pudiendo, si son multifilares, estar construídas en forma *plana* o *cilíndrica.* La figura 111 indica ejemplos de estos distintos tipos.



La altura de una antena, por lo que a su construcción se refiere, se llama *altura geométrica,* interviniendo en los cálculos una dimensión ficticia denominada *altura efectiva.*

La *altura efectiva* de una antena se calcula multiplicando la altura geométrica por cierto coeficiente. Ahora queremos explicar el porqué debe de considerarse esta altura.



Sabemos que una antena al radiar está recorrida por un voltaje y una corriente alterna de radio frecuencia. Consideremos el caso de la figura 112, y supongamos que la antena recibe energía del alternador A; sabemos que el voltaje y la intensidad están defasados 90 grados, lo cual quiere decir que cuando la intensidad es máxima el voltaje es nulo, y así sucesivamente. Como que la tensión en el contacto con tierra será siempre nula, resulta que la

máxima tensión estará localizada en el extremo libre de la antena; por otra parte, como que toda la intensidad debe de pasar por el contacto con la tierra y por el extremo libre (admitiéndolo perfectamente aislado) no pasará ni un solo electrón, resulta que habrá un *vientre* de intensidad en la conexión de tierra y un *vientre* de voltaje en el extremo libre de la antena, variando estos valores de tal forma que cuando la intensidad será máxima el voltaje será nulo. (Fig. 113).

De lo explicado resulta que la *intensidad no está uniformemente repartida* a todo lo largo de la antena, sino que va decreciendo a medida que se separa de la conexión de tierra. Ahora bien, la *altura efectiva* es una altura ficticia, que supone la intensidad *uniformemente repartida* de un valor total equivalente al de la antena real. Naturalmente, esta altura será siempre menor que la geométrica y por lo tanto el factor que la multiplica, para obtener la altura efectiva, es menor que la unidad.

Indicamos a continuación los coeficientes para los tipos de antena más comúnmente usados:

FORMA	ALTURA EFECTIVA			
Vertical	Altura	geométrica	× 0,637	[94]
Inclinada	»	»	× 0,637	[95]
En T o L	»	»	× 0,570	[96]

A este coeficiente se le llama *factor de forma de la antena.*

PROBLEMA 65. — *Un emisor tiene una antena en forma "T", cuya altura geométrica es de 17,55 m. Se quiere saber cuál es su altura efectiva.*

Solución. — Según la fórmula [96], tendremos:

$$\text{Alt. efectiva} = 17{,}55 \times 0{,}57 = 10 \text{ m. aprox.}$$

Luego equivale a una antena de 10 metros cuya intensidad estuviese uniformemente repartida.

La altura efectiva es la que se emplea en los cálculos al determinar la *resistencia de radiación* de un emisor, según veremos en momento oportuno.

Antes de demostrar cómo se calcula la potencia radiada por una emisora debemos de ampliar aún las explicaciones de las antenas.

Consideremos la antena vertical. Cada centímetro, cada milímetro, cargado a un cierto potencial con respecto de tierra, representa un pequeño condensador, y, por lo tanto, la reunión de todas las partes nos representará la *capacidad de la antena.* Luego *una antena puede considerarse como un condensador,* cuya capacidad aumenta si en vez de ser vertical tiene la forma de L

invertida, o T, pues en estos dos casos la parte superior, generalmente formada por varios hilos, definen un plano, el cual actúa como la placa de un condensador, y la superficie del terreno, situado debajo de ella, como la otra placa.

Por otra parte, un hilo recorrido por una corriente alterna ofrece una cierta inductancia, cuyo valor ya vimos como aumenta al enrollarlo en forma de bobina. No obstante, aunque poca, un hilo recto posee inductancia y, por lo tanto, una antena, de cualquier forma que sea, posee también inductancia. Sabiendo, pues, estos dos valores, averiguaremos a qué frecuencia vibra el sistema, es decir, sabremos lo que se llama su *frecuencia* u *onda fundamental,* dándose este nombre a la onda que radia una antena sin tener adicionada en su circuito ninguna capacidad ni inductancia.

Para una antena unifilar se demuestra y encuentra prácticamente, que la onda fundamental es la cuarta parte de la longitud de la antena. Al tener más de un hilo, la longitud de onda va aumentando, porque la capacidad crece también.

Según lo expuesto, la frecuencia del alternador de nuestro ejemplo debe de ajustarse a esta frecuencia para obtener el máximo de rendimiento.

Como no es posible en la práctica tener una antena sin adicionarle inductancias o capacidades, estudiaremos las alteraciones que producen al conectarle estos elementos.

Al intercalar un condensador en serie con una antena, se aumenta la intensidad de corriente que pasa por aquel punto. Este es el caso de las antenas T o L invertida; en vez de ser nula la intensidad en su punto más elevado tiene un valor apreciable, aumentando así la intensidad de corriente que circula por la porción vertical. Luego hay interés en reducir al mínimo la capacidad en la porción vertical y concentrarla en la parte horizontal. Si el condensador se intercala cerca del suelo, como que entonces la intensidad se concentra en aquel punto, todo pasa como si la antena se hubiese acortado y, por lo tanto, se recibirá o emitirá una longitud más corta. (Recuerde que dos capacidades en serie dan una capacidad resultante más pequeña.)

Si intercalamos una inductancia, como que ésta se sumará a la de la antena (ya explicamos que dos inductancias en serie se suman), la longitud de onda del sistema aumentará.

Según esto, intercalando en serie con una antena un condensador variable y una inductancia variable (variómetro, por ejemplo), tenemos el medio de hacer variar la longitud de onda de la antena entre ciertos límites. Es conveniente, por lo que al rendimiento se refiere, no aumentar la onda del doble ni disminuirla a la mitad de su onda fundamental.

Si una antena tuviese su inductancia y su capacidad concentrada en un solo punto, constituiría el caso idéntico a un circuito con L y C en serie y sólo habría una frecuencia en que la intensidad sería máxima; pero como que tanto la inductancia como la capacidad de una antena están distribuídas a todo su largo, no hay un solo punto en que la intensidad es máxima, sino una serie, y lo que se llama *frecuencia fundamental* es la más baja de todas estas frecuencias.

Las otras frecuencias, llamando f a la fundamental, son $3f$, $5f$, $7f$, $9f$, etc. Estas frecuencias se llaman *harmónicos* y de todos son bien conocidos por recibir una estación local en una serie de puntos; sin embargo, se puede arreglar de forma que los harmónicos tengan una intensidada prácticamente despreciable.

PROBLEMA 66. — *Un transmisor emite con una onda fundamental de 300 metros. Se quiere saber la longitud de onda del primero, segundo y tercer harmónicos.*

Solución. — Como que la frecuencia fundamental es de un millón de períodos por segundo (onda de 300 m.), sabiendo la relación entre la frecuencia y la longitud de onda [83], puesto que f es igual a 3 millones para el primer harmónico, 5 millones para el segundo y 7 millones de períodos en el tercer harmónico, tendremos:

$$1^{er} \text{ harmónico} = 300.000.000/3.000.000 = \lambda_1 = 100 \text{ m.}$$
$$2.^{o} \quad » \quad = 300.000.000/5.000.000 = \lambda_2 = 60 \text{ m.}$$
$$3.^{er} \quad » \quad = 300.000.000/7.000.000 = \lambda_3 = 42{,}85 \text{ m.}$$

Características de una antena. — La *inductancia* y *capacidad* de una antena es lo que determina su *frecuencia fundamental*, mientras que su *resistencia efectiva* es lo que define su *amortiguamiento*. Luego para calcular una antena es necesario conocer estos tres valores.

Considerando a la antena como a un condensador y recordando lo explicado al tratar la capacidad, vemos que la energía comunicada a una antena viene expresada por la fórmula:

$$\text{Vatios} = 1/2 \times C \times V^2 \times N, \qquad [63]$$

siendo C la capacidad en faradios, V la tensión en voltios y N el número de veces que se descarga el condensador por segundo. Según esto, podemos aumentar la potencia multiplicando el número de veces que se cargue el condensador, o bien aumentando la tensión aplicada, en cuyo caso la energía aumenta con el cuadrado; no obstante, voltajes de más de 35.000 o 40.000 voltios producen pérdidas en los extremos libres; luego uno de los procedimientos más eficaces consiste en aumentar la capacidad o

bien la frecuencia. Por consiguiente, la antena de una emisora potente debe de poseer bastante capacidad, lo cual se obtiene con muchos hilos, de gran longitud.

La capacidad de las antenas es muy pequeña. A título de ejemplo diré que las antenas de los grandes transatlánticos acostumbran a tener una capacidad de poco más o menos media milésima de microfaradio, es decir, la capacidad de un condensador variable de sintonía, y, las grandes antenas de las estaciones transatlánticas, raras veces pasan de 5 milésimas de microfaradio... la capacidad que acostumbramos a emplear para shuntar un altavoz o una batería de placa.

La siguiente fórmula se emplea en los Estados Unidos para calcular la capacidad de las antenas y da una aproximación tan grande, que puede adoptarse en todos aquellos casos que la antena no sea excesivamente larga:

$$C = 40 \times \sqrt{A} + 8{,}85 \times A/h, \qquad [97]$$

donde C es la capacidad en micro-microfaradios, A el área de la parte horizontal de la antena en metros cuadrados y h la altura, en metros, sobre el suelo.

PROBLEMA 67. — *Una antena en T tiene una altura de 10 metros, la parte horizontal está formada por tres hilos de 20 metros de longitud, separados a 1 m. 50 cada uno. Hallar su capacidad en microfaradios.*

Solución. — Utilizando la fórmula [97], tendremos:

$$C = 40 \sqrt{60} + 8{,}85 \times 60/10 = 0{,}000363 \text{ microfaradios.}$$

La *inductancia* de una antena entra como factor al determinar su frecuencia, pero no tiene tanta importancia como la capacidad. Indicaremos como se mide en el capítulo IV, diciendo en este momento que en las antenas usadas comúnmente su valor varía entre 50 y 100 microhenrios.

La *resistencia* de las antenas tiene una gran importancia para determinar *la potencia radiada* de un emisor. Al tratar la resistencia encontramos que la potencia, en vatios, de un circuito se evalua por el producto de los amperios elevados al cuadrado multiplicados por la resistencia. Como que podemos averiguar los amperios colocando un amperímetro en un vientre de intensidad, si sabemos los vatios que se radian podremos suponer una resistencia ficticia que satisfaga la ecuación $W = R \times I^2$.

A esta resistencia se la llama *resistencia de radiación* y se determina en función de la altura efectiva y la longitud de la onda, como veremos luego, pero es conveniente decir ahora que en una antena se presentan una serie de resistencias, todas ellas

perjudiciales, excepto esta resistencia ficticia, que entra como factor para determinar los vatios radiados.

La energía puesta en una antena se disipa de la forma siguiente: *a*) parte en calor por la resistencia que ofrecen los hilos; *b*) transformación en calor en el dieléctrico (aire) que rodea la antena; *c*) escape de electrones por sobre y a través de los aisladores, debido a la gran presión eléctrica que hay en estos puntos; *d*) descargas debido a excesos de voltage, y *e*) radiación de ondas. Los cuatro primeros efectos absorben energía, que transforman en calor y, por lo tanto, inútil para la radiación; sólo la última es utilizada y aun en parte solamente, pues si no se tiene la precaución de alejar los conductores (mástiles metálicos, vientos de alambre, etc.), gran parte de esta energía es asimismo absorbida y transformada en calor; este defecto puede reducirse fraccionando los vientos con aisladores.

Resumiendo: sólo es útil para radiar energía la resistencia de radiación, cuyo valor viene dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Res. de radiación} = 1.584 \times \frac{\text{Altura efectiva}^2}{\text{Longitud de onda}^2} \qquad [98]$$

Esta fórmula también puede escribirse de la siguiente forma:

$$\text{Res. de radiación} = 1{,}76 \times \frac{\text{Altura efectiva}^2 \times \text{frecuencia}^2}{100.000.000}$$

En ambas fórmulas, la resistencia de radiación se expresa en ohmios, la altura efectiva en metros, lo mismo que la longitud de onda, y la frecuencia en ciclos por segundo.

PROBLEMA 68. — *Una antena tiene una altura efectiva de 10 metros y radia una onda de 200 metros. Calcular su resistencia de radiación.*

Solución. — Empleando la fórmula [98], tendremos:

$$\text{R. de rad.} = 1.584 \times 10^2/200^2 = 1.584 \times 0{,}0025 = 3{,}96 \text{ ohmios.}$$

La *potencia radiada* por una antena viene dada por el producto de su intensidad, medida en un vientre, elevada al cuadrado, por la resistencia de radiación. Siendo I la intensidad, Rr la resistencia de radiación y W los vatios, podemos escribir:

$$W = I^2 \times Rr. \qquad [99]$$

Esta fórmula, reemplazando el valor de la resistencia de radiación dado anteriormente por [98], puede también escribirse en la siguiente forma:

$$W = 1.584 \times h^2 \times I^2/\lambda^2 \qquad [98 \text{ bis}]$$

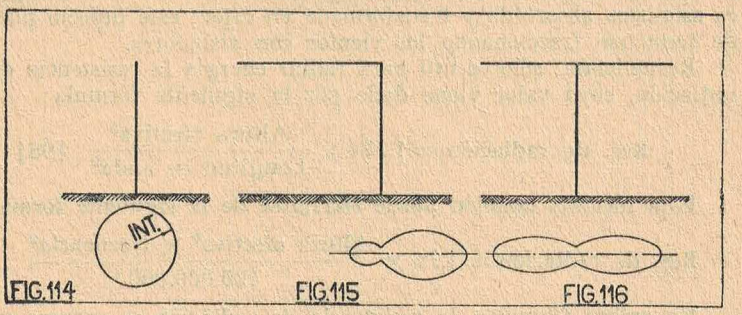
estando la potencia expresada en vatios.

PROBLEMA 69. — *Un emisor tiene una antena cuya resistencia de radiación es de 4 ohmios, y un amperímetro térmico, colocado en un vientre de intensidad, marca 3,5 amperios. ¿Cuántos vatios se radian?*

Solución. — Utilizando la fórmula [99], tendremos:

$$W = 3{,}5^2 \times 4 = 49 \text{ vatios.}$$

Efectos direccionales de las antenas. — Las antenas emisoras y receptoras, lo mismo que todos los artificios empleados para producir movimientos ondulatorios, producen su máximo efecto en una dirección determinada si no son simétricos con respecto a una perpendicular trazada en el sentido de la propagación.



Así, una campana hace vibrar con igual intensidad el aire que la rodea, pudiéndose comparar con una antena vertical. En este caso (Fig. 114), dibujando en la planta las intensidades a una cierta distancia, podemos representarla por un círculo.

Los efectos direccionales de las bocinas alargadas, muy usadas aún para hablarse a cierta distancia, nos dan una idea del efecto direccional de la antena L invertida, indicándose en su base cómo se distribuyen los campos eléctrico y magnético (Figura 115).

El efecto direccional de la antena en T se indica en la figura 116: es simétrico en dos direcciones.

Por lo tanto, gracias a la forma de la antena es posible orientar la energía radiada hacia una cierta dirección, notándose su efecto especialmente cuando se recibe de grandes distancias. Los efectos direccionales, sin embargo, son máximos en las antenas de cuadro.

La antena de cuadro. — Ya dijimos que la antena de cuadro se podía considerar como una inductancia, y siendo condición necesaria a un circuito, para que responda a una frecuencia

determinada, tener inductancia y capacidad, en este caso el circuito se cierra por medio de un condensador. La longitud de onda fundamental se determina mediante [85].

PROBLEMA 70. — *Un cuadro tiene una inductancia de 93 microhenrios y una capacidad de 75 micro-microfaradios entre espiras. Calcular su onda fundamental.*

Solución. — Según [85], tendremos:

$$\lambda \text{ fund.} = 1884{,}96\sqrt{96 \times 0{,}000.075} = 159 \text{ m.}$$

Hay interés en reducir al mínimo posible la capacidad del cuadro para que la onda fundamental sea lo más baja posible. Como que la capacidad residual de un condensador es, aproximadamente, igual a la décima parte de su capacidad máxima y viendo, según [85], que la longitud de onda viene determinada por L y C, tenemos que hacer L tan grande como se pueda. Tenga presente, por otra parte, que la intensidad recibida depende directamente de la *superficie* de las espiras, y por lo tanto, es conveniente, siempre que las circunstancias lo permitan, hacer un cuadro del menor número de espiras y del mayor tamaño posible, para un valor determinado de L, reduciendo al mínimo la capacidad entre ellas; esta última condición se obtiene separándolas bastante entre sí.

En el circuito de un cuadro es necesario tener en cuenta no sólo su capacidad, sino también las de las conexiones, etc., y finalmente la residual del condensador.

En los cuadros empleados en la recepción se separan las espiras unos 6 mm. y 12 y a veces 25. Para tener una idea de como varía la longitud de onda al intercalar una capacidad variable en un cuadro, doy las siguientes cifras:

Lado del cuadro	Espacio entre espiras	Capacidad máxima	Capacidad mínima	λ en m.
1 m. 25	25 mm.	,0014	,000045	180 a 500
1 m. 25	25 mm.	,0006	,00004	150 a 350

La *altura efectiva de un cuadro* es muy pequeña comparada con su altura geométrica. Si denominamos por S su superficie en metros cuadrados, la longitud de la onda en metros y N el número de espiras, tendremos:

$$\text{Altura efectiva} = 6{,}2832 \times S \times N/\lambda \qquad [105]$$

El voltage recibido por una antena de cuadro se calcula por medio de la siguiente fórmula, que da un resultado prácticamente satisfactorio:

$$V = \text{Altura efectiva} \times F \times \cos \theta. \qquad [105 \text{ bis}]$$

V se expresa en voltios, F es la intensidad del campo electrostático en voltios por metro, y cos θ el coseno del ángulo que forma el plano del cuadro con la dirección del campo. Cuando está orientado exactamente, el ángulo es nulo y, por lo tanto, el coseno vale la unidad. En este caso, para saber el voltage que recibirá el cuadro, basta con multiplicar su altura efectiva por la intensidad de campo.

PROBLEMA 71. — *¿Cuál es la altura efectiva de un cuadro que mide un metro de lado y tiene diez espiras. La onda recibida tiene una longitud de 314 metros.*

Solución. — Utilizando [105], hallaremos:

$$\text{Alt. ef.} = 6{,}2832 \times 1 \times 10/314 = 0{,}20 \text{ m.};$$

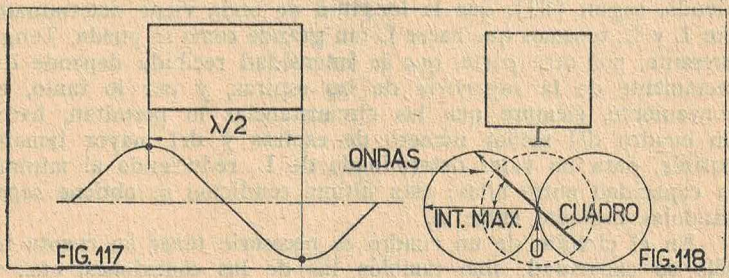


FIG. 117 FIG. 118

luego, la altura efectiva es sólo de 20 centímetros, es decir, equivale a una antena aérea de esta altura efectiva: he aquí la causa porqué los cuadros son malos transmisores y captadores de energía.

Ya explicamos, al tratar de las antenas aéreas, en qué forma, tanto el campo eléctrico como el magnético de la onda, producían una intensidad eléctrica en la antena receptora. Para explicar ahora cómo se produce este fenómeno en un cuadro, tengamos presente que a cada media longitud de onda el sentido de las líneas de fuerza del campo electromagnético cambia de sentido. Recordando ésto, supongamos dos conductores verticales, orientados en el plano de la dirección que se propagan las ondas de una emisora. Si admitimos que estos dos hilos están separados a una distancia equivalente a media longitud de onda, es natural que la intensidad que circulará por el primer conductor será de dirección contraria a la del segundo, por la sencilla razón de que las líneas de fuerza que habrán engendrado estas corrientes serán de sentido inverso; por consiguiente, si unimos estos dos hilos verticales por dos de horizontales, este cuadro será recorrido por una corriente que variará de acuerdo con las líneas de fuerza del campo. (Fig. 117).

Recordemos que el campo magnético podemos considerarlo como horizontal, es decir, situado en el mismo plano que el mar, y como que un campo magnético para inducir una corriente deben de cortarse sus líneas de fuerza por medio de un conductor (siendo este efecto máximo cuando éste es perpendicular al campo y de valor nulo cuando está en el mismo plano), resulta que el campo magnético creará corriente en la porción vertical del cuadro.

Recordemos también que las líneas de fuerza eléctricas crean una corriente cuando están en el mismo sentido que el conductor (porción vertical), no produciendo ningún efecto en un conductor situado perpendicularmente (porción horizontal). Estos efectos se ponen en evidencia al poner el plano del cuadro en posición horizontal.

Con todo esto he demostrado que sólo captan energía las porciones de espira verticales, utilizándose las horizontales solamente para establecer el circuito. Parece, pues, que el interés consistiría en reducir al mínimo las porciones horizontales, ya que no captan energía y ofrecen resistencia, pero tengamos presente lo dicho anteriormente: *la energía recibida será máxima cuando las porciones verticales estén separadas por una distancia igual a media longitud de onda y cuanto más altas sean estas porciones.*

No es posible construir cuadros de tales dimensiones, salvo excepciones (para experiencias transatlánticas se han hecho cuadros de unos 20 metros de lado), variando en la práctica entre unos 60 centímetros a unos 2 metros de lado.

Si en un cuadro hacemos que los hilos verticales estén tan cerca uno del otro que podamos despreciar la porción horizontal, como que a cada instante los campos recibidos tendrán el mismo valor, no circulará corriente, puesto que los dos tendrán el mismo voltage inducido. Este es el caso de situar el plano del cuadro en dirección perpendicular a la dirección de propagación de las ondas: como que las dos porciones verticales reciben al mismo instante un campo electromagnético igual, inducen en ambas el mismo voltage, y, por lo tanto, no se recibe aquella estación. Entre la posición perpendicular y la de orientación hacia la emisora varía la intensidad recibida de acuerdo con el ángulo, según lo indico en la figura 118.

El punto en que varía más rápidamente es la llamada posición *cero*. Es un punto muy definido: la emisora está situada en la dirección de la perpendicular al plano del cuadro. En cambio, el punto máximo es indefinido, pudiéndose variar el ángulo algunos grados sin notar un gran efecto.

Pudiendo saber la orientación de una emisora, se puede, me-

diante dos receptores, situar su *posición*: la emisora estará en la intersección de las dos perpendiculares a los cuadros.

Esta rama de la radio, llamada *Radiogoniometría*, está actualmente muy perfeccionada, prestando importantísimos servicios, entre los cuales queremos mencionar los siguientes: encontrar emisoras clandestinas; orientar buques en alta mar; orientar naves aéreas; facilitar la entrada en puertos con neblina, etc., etc. En estos casos el procedimiento es poco más o menos el siguiente: un buque en alta mar quiere *situarse* exactamente; llama por radio a las estaciones receptoras radiogoniométricas, y, previamente avisadas, el buque emite unas cuantas rayas prolongadas que permiten encontrar con los cuadros de dos o más receptoras el "punto cero"; sabiendo exactamente las distancias que hay entre estas estaciones, calculan la posición del buque exactamente. Este procedimiento se emplea mucho en los mares del Norte, donde las nubes y la niebla no permiten, a veces, durante varios días, tomar la altura de los astros para orientarse.

Hoy en día, un avión al cruzar el Atlántico, puede saberse, a cada instante, su posición exacta mediante la radiogoniometría con el mismo procedimiento que el empleado para situar a los buques.

La orientación de entrar en puertos de espesa neblina es posible y se practica diariamente en puertos del Norte. En este caso el buque tiene un receptor con cuadro situado cerca del puente, recibiendo la orientación de un emisor situado en tierra cuyas radiaciones electromagnéticas marcan así tan exactamente el rumbo a seguir como si fuese un faro, y precisamente, debido a esta semejanza de utilización, se les denomina *faros hertzianos*.

CAPITULO II

La válvula electrónica

PRELIMINARES

Se compone de un envoltorio de vidrio o metal, que puede afectar diversas formas, en cuyo interior hay dos o más elementos llamados *electrodos*.

Estos elementos son un *filamento* y una *placa* en la válvula llamada de *dos electrodos*, y una *rejilla* interpuesta entre los dos elementos antes mencionados, en las válvulas de *tres electrodos* (Fig. 119). Pueden tener más electrodos, siendo bastante em-

pleadas las válvulas con *dos rejillas, dos placas* y otras, en fin, de más complicadas como la de rejilla ecrán, la pentodo, la octodo, etc.

Los distintos electrodos se fijan en una base, estando terminados por unos contactos destinados a establecer el circuito con las distintas conexiones (alimentación, transformadores, etc.).

En el interior de la válvula se hace el vacío, tan perfecto como se pueda, con bombas aspiradoras, extremándolo, finalmente, mediante la volatilización de magnesio, que da a los envoltorios de cristal una apariencia de *plateado.*

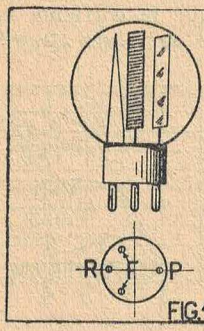


FIG.119

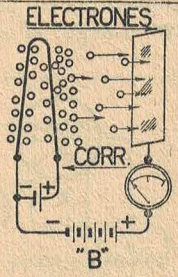


FIG.120

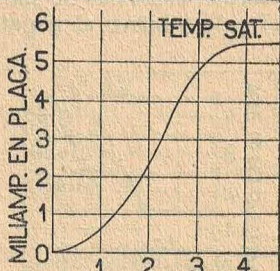


FIG.121

El funcionamiento de las válvulas electrónicas demuestra en una forma palpable el mecanismo de los *electrones* que hemos utilizado en la exposición de este libro.

Ya explicamos que por medio del calor los electrones quedan más libres, pueden ser separados de un circuito y absorbidos por un potencial positivo. En la válvula de dos electrodos, compuesta de un filamento y una placa, el filamento se eleva de temperatura mediante una batería; el filamento se enrojece y queda un cierto número de electrones circundándolo.

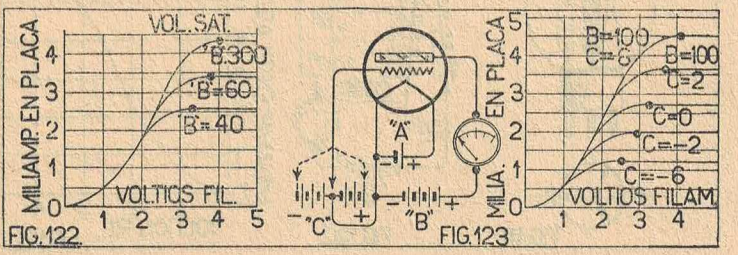
La placa se conecta al polo positivo de una batería de bastante voltaje, conectando su polo negativo con el negativo de la batería de filamento. Tan pronto como estas baterías están conectadas y se hace pasar corriente por el filamento, éste empieza a dejar electrones libres y la placa a absorberlos, estableciendo a través del espacio que separa a estos dos electrodos un paso de electrones que se pone en evidencia intercalando un miliamperímetro en serie con el circuito de la placa (Fig. 120).

Para una tensión de placa determinada, notaremos al encender el filamento que la corriente del circuito de la placa ha ido creciendo a medida que hemos aumentado la corriente del fila-

mento, y por fin observaremos que, pasado cierto valor, aunque aumentemos el encendido del filamento, no endremos ningún aumento en la *corriente de placa;* esta condición se llama *temperatura de saturación.* La figura 121 ilustra lo explicado.

Establezcamos, antes de seguir adelante, que la batería de filamento se denomina *batería "A"* y la de placa *batería "B"*, no debiéndose de confundir estas letras como las iniciales de alto y bajo voltaje, puesto que precisamente significan todo lo contrario.

Bueno es también que repitamos ahora, que el electrón, siendo de polaridad negativa, es atraído por un potencial positivo, es decir, se desplaza del polo negativo al positivo, y en los fenómenos eléctricos se ha convenido en decir que la corriente va del polo positivo al negativo. Luego, *el sentido del flujo electrónico es contrario al de la corriente eléctrica que produce su desplazamiento.*



Supongamos, una vez obtenido el punto de temperatura de saturación, que aumentamos el voltaje de la batería "B". Notaremos que la corriente de placa aumenta. Volvamos a elevarlo nuevamente y veremos que la corriente de placa vuelve a aumentar, y así sucesivamente, hasta que llega un punto en que por mucho que elevamos la tensión de la batería "B" no se consigue ningún aumento de intensidad; este punto se denomina *voltaje de saturación,* indicando claramente lo explicado la figura 122.

Por consiguiente, una válvula tiene un límite de intensidad de corriente de placa, pasado el cual no es posible aumentarlo: es la saturación electrónica del espacio filamento-placa.

Actualmente las válvulas tienen un vacío casi absoluto y por este motivo su funcionamiento es muy constante. Las válvulas cuyo vacío es extremado se llaman *duras,* mientras que las que tienen resíduos gaseosos se llaman *blandas.*

Las válvulas de dos electrones se emplean como *válvulas rectificadoras* de la corriente. alterna. En efecto, si le aplicamos un voltaje alterno, sólo pasarán electrones al ser la placa positiva,

interrumpiéndose al aplicársele el medio ciclo negativo, por no absorber entonces electrones. De esta forma tenemos una sucesión de medios ciclos positivos.

La válvula de dos electrodos se utiliza como rectificadora y como detectora (diodo).

La válvula de tres electrodos se llama así por tener interpuesto entre el filamento y la placa *una rejilla*, que controla el paso de los electrones que van a la placa. Es natural que si no efectuamos conexión alguna con la rejilla, el funcionamiento será idéntico al de la válvula de dos electrodos, pero, tan pronto se pone la rejilla a un potencial positivo o negativo, todo queda alterado.

La batería que se conecta en la rejilla se denomina *batería "C"*.

Conectemos una válvula de tres electrodos tal como indica la figura 123; conectando la rejilla al negativo de las baterías "A" y "B", es decir, con cero voltaje "C", obtendremos valores de la corriente de placa y si ahora hacemos a la rejilla negativa cierto números de voltios, en el instante veremos que la corriente de placa ha disminuído. Si vamos haciendo más y más negativa a la rejilla, llegará un momento en que la corriente de placa se anulará. La causa es que siendo los electrones negativos, haciendo cada vez más negativa la rejilla, origina una repulsión de los electrones, la cual, en parte, es vencida debido a su gran velocidad (unos 6.000 kms. por segundo). La tensión de la placa contrarresta el efecto de la rejilla, pero pasado cierto límite, la rejilla impide en absoluto el paso de los electrones y entonces, naturalmente, no habrá corriente.

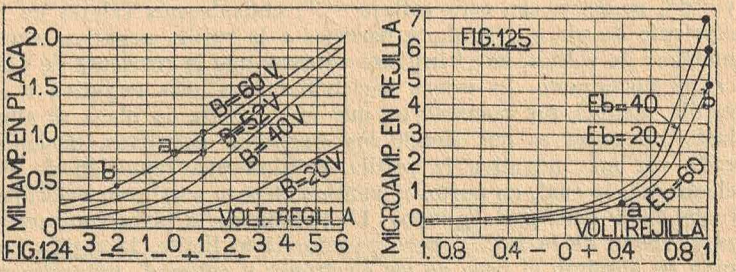
Si invertimos la tensión de la rejilla, es decir, si la vamos haciendo positiva, observaremos que la corriente de placa aumenta, y si hacemos más positiva aún la rejilla, nuevamente aumentará la corriente de placa, hasta llegar a un límite, el de saturación, ya indicado anteriormente. Ahora lo que ha sucedido es el caso inverso del anterior; los electrones, atraídos simultáneamente por la rejilla y la placa, han activado el número de atraídos y, por lo tanto, con menos tensión en la placa, obtendremos la misma intensidad de corriente que con una válvula de dos electrodos. En este caso la rejilla absorbe también electrones, aunque relativamente pocos, originando una *corriente de rejilla*, que es tanto más importante cuanto mayor sea la tensión de la batería "C". La corriente total será, pues, igual a la suma de la corriente de la rejilla, más la de la placa: $I_t = I_p + I_r$.

Obsérvese que por muy positiva que hagamos a la rejilla, no es posible aumentar el número de electrones que pueden pasar entre el filamento y la placa en su punto de saturación. Esta cantidad viene limitada por el número de electrones capaces de

pasar por el *espacio* filamento-placa y no puede alterarse; lo que sí, haciendo positiva la rejilla, se obtiene este valor con menos voltaje en la placa. Este es el caso de las válvulas llamadas de dos rejillas, donde una de las dos se conecta al mismo (o casi al mismo) potencial positivo que la placa, pudiéndose así hacer funcionar la válvula con una batería "B" de muy poco voltaje.

El lector ya habrá visto que aplicando a la válvula una tensión determinada entre filamento y placa y pasando una corriente, *la válvula se comporta como una resistencia variable* al hacer variar el voltaje de la rejilla. Esta resistencia podemos averiguarla mediante la fórmula de OHM: $R = V/I$.

El estudio de las válvulas sólo es posible mediante la obtención de un cierto número de valores representados mediante líneas, llamadas *curvas de las características de la válvula.*



Dos son las curvas principales de una válvula de tres electrodos. La primera es la que relaciona la intensidad de la corriente de la placa, I_p, con el voltaje de la rejilla, V_g. La segunda es la que indica la corriente de rejilla (según su voltaje, V_g) y la tensión de placa, V_p.

La primera de estas curvas se indica en la figura 124 y de ella deduciremos una importante cuestión: supongamos tener en la placa una tensión $V_p = 60$ voltios; con cero voltios en la rejilla ($V_g = 0$), la corriente de placa I_p será 0,8 miliamperios; aumentemos ahora la tensión de rejilla V_g a 1 voltio, positivo: la corriente de placa I_p habrá aumentado a 1 miliamperio. Para volver a obtener la corriente de 0,8 miliamperios deberemos disminuir el voltaje de placa V_p a 52 voltios; luego, *un aumento de 1 voltio en la rejilla ha afectado a la placa una variación de 8 voltios.* A la variación de voltaje de placa, al variar un voltio la tensión de la rejilla, se la denomina *coeficiente de amplificación de la válvula,* designándose también con el nombre de *factor de amplificación.* Se representa por μ.

$$\text{Factor de amplif.}_{\text{con } I_p = \text{constante}} = \frac{\text{Var. voltaje placa}}{\text{Var. voltaje rejilla}} = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g}$$

Es decir:

$$\mu = \Delta V_p / \Delta V_g \qquad [106]$$

De lo que acabamos de explicar se deduce una consecuencia de interés capital: *la válvula multiplica las variaciones de tensión aplicadas a la rejilla, transformándolas en variaciones de intensidad de corriente en el circuito de la placa.*

Las mediciones que estamos tratando se efectúan mediante el circuito de la figura 126; un potenciómetro en el circuito de rejilla y otro en el de placa permiten graduar exactamente las tensiones mediante los voltímetros situados en cada circuito. Los

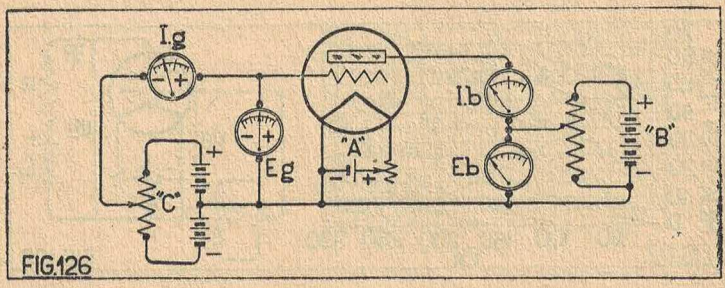


FIG.126

amperímetros acusan las intensidades; en estas mediciones la intensidad del filamento se mantiene invariable.

La segunda curva se obtiene dando a la rejilla valores V_g negativos y positivos. La intensidad de la rejilla se obtiene para distintos valores de V_p. Esta curva se indica en la Fig. 125.

Ahora, teniendo la rejilla al potencial cero y $V_p = 50$ voltios, por ejemplo, midamos la intensidad I_p de la placa; si aumentamos 5 voltios a la tensión V_p de la placa, obtenemos un aumento de $I_p = 0{,}1$ miliamperios; por lo tanto, nos encontramos en presencia de algo que limita la intensidad, es decir, *homogéneo a una resistencia* y por lo tanto puede calcularse mediante la fórmula de OHM: resistencia $= 5/0.0001 = 5.000$ ohmios: se la denomina *resistencia interna.* Se representa por ρ.

$$\text{Res. interna}_{\text{con } V_g = \text{constante}} = \frac{\text{Var. del voltaje de placa}}{\text{Var. de intensidad placa}} = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p}$$

Es decir:

$$\rho = \Delta V_p / \Delta I_p \qquad [107]$$

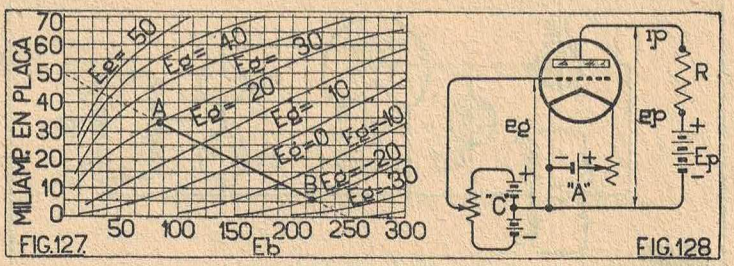
En fin debemos mencionar lo que se denomina *pendiente* de la curva característica: es el número de miliamperios (o fracción de un miliamperio) que varía la corriente del circuito de la placa, I_p, por la variación de un voltio en el circuito de la rejilla, V_g. Se representa por g.

$$\text{Pendiente}_{\text{con } V_p = \text{const.}} = \frac{\text{Variación voltaje rejilla}}{\text{Variación intensidad placa}} = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g}$$

ó sea:

$$g = \Delta I_p / \Delta V_g \qquad [108]$$

Para comprender bien claramente el funcionamiento de la válvula electrónica, téngase presente que la rejilla actúa como *una válvula* que permite más o menos paso de electrones del



circuito de la placa, pero, la potencia del circuito de la placa *es suplida por la batería "B"*. En cambio, las variaciones de potencial que sufre la rejilla son producidas por un agente exterior (voltaje inducido en una antena al pasar una onda, variación de voltaje en el secundario de un transformador, etc.). Sin embargo, manteniendo a un voltaje muy bajo la rejilla, la potencia necesaria para crear variaciones de potencial es muy pequeña, dándose el nombre de *factor de amplificación de potencia* a la relación entre la potencia deliberada por la placa y la gastada por la rejilla. Esta relación alcanza valores de 5.000 y hasta 10.000 veces.

Para estudiar mejor lo que sucede en una válvula, es recomendable trazar varias curvas de la relación entre V_p e I_p a distintos valores de potencial de la rejilla. De esta manera se han obtenido las curvas de la figura 127, haciendo variar, de 10 en 10 voltios, la tensión aplicada a la rejilla desde — 40 voltios a + 50. De estas curvas deducimos que *la válvula se comporta como una resistencia variable*: cuando la rejilla es positiva, la resistencia interna es baja; en cambio, cuanto más negativa haga-

mos luego a la rejilla con respecto del filamento, mayor será la resistencia del circuito filamento-placa.

Ya mencioné, al definir el factor de multiplicación de energía, que la relación entre la potencia deliberada por el circuito de la placa y el de la rejilla es muy grande. Tenga presente que esta diminuta potencia aplicada al circuito de la rejilla, es la que controla la resistencia interior de la válvula, potencia que se disipa y, por lo tanto, es necesario obtenerla de una fuente exterior (antena, secundario de un transformador, etc.) Para poder estudiar esta pequeña potencia, es conveniente establecer la relación entre el voltaje de rejilla y la corriente que por ella pasa a distintos potenciales de placa. La figura 125 nos da un ejemplo y de esta curva deducimos la potencia que necesita el circuito rejilla-filamento para operar la válvula en distintas condiciones.

Las curvas que hemos estudiado explican todas las relaciones que hay entre los voltajes y las intensidades por lo que a la válvula se refiere, pero téngase presente que ésta se emplea *conectada a otros aparatos* y, por lo tanto, estas propiedades serán afectadas por las de los otros órganos.

El caso más sencillo que podemos estudiar ahora es cuando se intercala una resistencia en el circuito de salida, en serie con la tensión de placa. Si V_p es el voltaje de placa, R la resistencia e I_p la intensidad que circula por el circuito (Fig. 128), como que la resistencia producirá una caída de tensión (véase página 66) igual a $R \times I_p$, el voltaje disponible en los bornes del circuito de salida (filamento-placa) será $V_p = E_b - R \times I_p$.

Supongamos que tenemos una válvula con una resistencia conectada en serie y de forma tal que $V_p = 250$ voltios. Si la resistencia total (filamento-placa, más R) es de 5.000 ohmios, nos pasará una intensidad $I_p = 50$ miliamperios. En la figura 127, tracemos una línea recta que una los puntos correspondientes a $I_p = 50$ miliamperios y $E^b = 250$ voltios: averiguaremos, para cada valor del voltaje de la rejilla, qué voltaje de placa se necesitará y corriente que pasará; si la rejilla la tenemos a $E_g + 20$, I_p será igual a 33 miliamperios y V_p a 85 voltios. (Estos valores son las lecturas de la intersección de la línea recta en las distintas curvas de la rejilla). Si ahora consideramos una tensión de rejilla de — 20 voltios, encontraremos para I_p unos 6 miliamperios y para V_p unos 217 voltios. Luego vemos que al intercalar una resistencia en el circuito de placa podemos determinar fácilmente los valores, porque éstos *concuerdan con las características de la válvula*; pero cuando se conectan en el circuito de placa inductancias y capacidades, o una antena, entonces las relaciones son mucho más complicadas, no pudiéndose determinar sino mediante cálculos bastante complicados.

Aplicando lo explicado hasta ahora, vemos que la figura 125 nos determina las relaciones que existen entre la corriente de rejilla Ig y voltaje de placa Vp; luego, la única variable es el valor instantáneo del voltaje de rejilla: *sabiendo este valor, todos los otros se determinan mediante las curvas características de la válvula.* Sabemos, por otra parte, que esta tensión es producida por un agente exterior, es decir, es el voltaje que recibe una antena o bien procede de otro circuito.

Las variaciones del potencial de la rejilla las hemos producido por medio de un potenciómetro o bien suponiéndole una *onda pura,* y por lo tanto de la forma I sin *wt,* pero en la práctica y, sobre todo, en la recepción radiotelefónica, las variaciones son complicadísimas, especialmente en los circuitos de frecuencias audibles.

Una vez terminadas estas nociones preliminares, explicaré el funcionamiento de la válvula como *rectificadora, detectora, amplificadora, osciladora* y *moduladora,* para que así el lector pueda interpretar y sacar provecho de este maravilloso artificio.

La válvula de dos electrodos.- Rectificación.— La base de la rectificación, mediante una válvula, consiste en que la corriente siempre pasa en un mismo sentido: de la placa al filamento. Por lo tanto, si aplicamos un voltaje alterno sólo pasará corriente cuando la placa sea positiva.

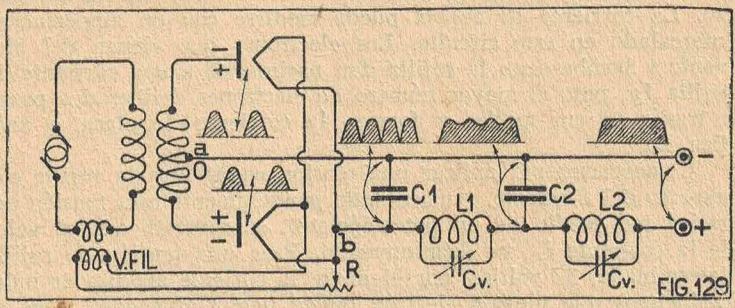
De los esquemas posibles, indico el de la figura 129, que rectifica los dos medios ciclos. Este esquema necesita filtros que absorban las corrientes variables y las restituyan como corriente continua.

Haciendo referencia al rectificador, si la derivación central del secundario está *exactamente* en la mitad, no tendrá variación de potencial alguna. Observando que el secundario será alternativamente positivo y negativo, en uno y otro extremo, cuando sea positiva la placa de la válvula superior, los electrones pasarán del filamento a la placa, y como que la corriente que produce un flujo de electrones es de sentido contrario al desplazamiento de éstos, la corriente eléctrica pasará de la placa al filamento; este fenómeno se repite con la válvula inferior al invertirse la polaridad del voltaje inducido. Tenemos como resultado, que entre los puntos *a* y *b* habrán variaciones de tensión, según indica la figura.

No siempre el negativo tiene un potencial nulo, debido a que la toma central no está hecha exactamente en la mitad del devanado secundario, siendo recomendable por este motivo filtrar también el negativo. Prácticamente, los filtros se construyen intercalando, en serie con el positivo, una inductancia de un valor adecuado a la frecuencia de las alternancias; la capacidad se obtiene, generalmente, mediante dos condensadores.

Por lo tanto, cuantos más filtrajes, más *continua* será la corriente; sin embargo, la disposición de dos condensadores con una inductancia da resultados suficientemente satisfactorios. Debemos emplear siempre un exceso de capacidad e inductancia, pero nunca valores menores que los necesarios. De aquí que en los casos prácticos se acostumbran a emplear, en L1, inductancias del orden de 50 henrios; en C1 y C2 las capacidades son de 4 microfaradios, llegándose a aumentar a 10 y hasta 18 microfaradios, para filtrar las frecuencias industriales.

Además del filtro que hemos descrito, hay una forma de perfeccionarlo, que consiste en conectar, en paralelo con la inductancia, un condensador variable; de esta forma este circuito en



paralelo tendrá una impedancia infinita a su frecuencia de resonancia, pudiéndose calcular [87] la capacidad necesaria sabiendo el valor de la inductancia y la frecuencia que queremos eliminar.

Los condensadores C1 y C2, pueden considerarse como equilibradores de voltaje, y la inductancia y el condensador en paralelo como al filtro propiamente dicho.

Una vez determinada la capacidad necesaria, se conecta el condensador variable y se ajusta hasta que el ruido desaparezca. Es conveniente emplear un condensador variable debido a que el punto de resonancia (Fig. 98) es bastante crítico.

Al utilizar válvulas para rectificar, tenga muy en cuenta los vatios que es capaz de producir y los que necesita su aparato.

La válvula de tres electrodos. - Generalidades. — El maravilloso impulso que han tomado la radiotelegrafía y la radiotelefonía es el resultado de la aplicación del tercer electrodo. Este ha permitido no sólo obtener una sensibilidad de recepción casi ilimitada, sino de crear un nuevo método de emisión, cuya simplicidad y perfección sobrepasan todos los sistemas antes conocidos. Debemos este descubrimiento a Lee de Forest, quien aplicó

un tercer electrodo en forma de rejilla entre el filamento y el anodo (placa). Cuando se coloca esta rejilla sin ninguna conexión, los electrones la atraviesan y la válvula no habría adquirido ninguna propiedad, pero esto cambia completamente cuando la rejilla es llevada a un cierto potencial. Puede comprobarse este efecto conectando la válvula tal como indica el esquema de la figura 126. La batería anódica está entre el filamento y el anodo con un miliamperímetro intercalado. Admitamos que la tensión anódica, sea Vp = 160 voltios. Intercalemos otra batería entre el filamento y la rejilla de forma que la tensión Vg de ésta puede modificarse gradualmente mediante un potenciómetro. Esta tensión de rejilla permite regular la corriente anódica Ip entre dos límites. La tensión de rejilla puede medirse mediante un voltímetro. La corriente de rejilla puede medirse con un amperímetro intercalado en este circuito. Los electrones que vienen del filamento y bombardean la rejilla dan nacimiento a una corriente de rejilla Ig, pero el mayor número de electrones deliberados pasan a través de sus mallas y forman la corriente de placa, o anódica, Ip.

Comencemos por aplicar una tensión negativa a la rejilla con respecto del filamento. Aumentando gradualmente esta tensión negativa por medio de un potenciómetro, se constata que el valor de la corriente i_a va disminuyendo. Para una tensión de rejilla determinada, 32 voltios, por ejemplo, la coriente anódica es nula. Deducimos que ningún electrón puede llegar al anodo. ¿Qué es lo que pasa? Sabemos que los electrones tienen una carga negativa y también sabemos que dos cargas eléctricas del mismo signo se repelen mutuamente. Si, pues, se ha aplicado a la rejilla una tensión inicial reducida, la rejilla repelerá una cierta cantidad de electrones, dependiendo del valor de la tensión negativa; estos electrones no participan ya de la corriente anódica, de forma que ésta va disminuyendo. Pero llega un momento que la tensión negativa de la rejilla es tan elevada que todos los electrones emitidos por el filamento son repelidos, siendo entonces nula la corriente anódica. Como puede verse en la curva característica del ejemplo que nos ocupa, esto se produce para una tensión de rejilla V_g de — 32 voltios. Este ejemplo nos permite hacer una deducción importante. La tensión anódica, V_p, era de 160 voltios y, naturalmente, si en el caso presente una tensión de rejilla de — 32 voltios basta para anular el efecto de una tensión anódica cinco veces mayor, vemos que tensiones débiles aplicadas a la rejilla pueden tener sobre la corriente anódica la misma influencia que tensiones anódicas mucho más elevadas, siendo éste precisamente el principio en que reposa la válvula amplificadora.

Cuando se aplica a la rejilla una polarización positiva con

respecto del filamento, ejercerá sobre los electrones una fuerza atractiva, y el valor de la corriente Ip aumentará. Los electrones absorbidos por la rejilla dan nacimiento a la corriente Ig, éstos, sin embargo, son siempre menos numerosos que los que la atraviesan y que están, por lo tanto, bajo la acción atractiva de la placa.

Para tensiones de rejilla positivas es necesario hacer una distinción entre la corriente anódica Ip y la corriente de rejilla Ig; esta última aumenta a medida que el valor de la polarización positiva de la rejilla es mayor y que el número de electrones captados por la rejilla es más grande. *La corriente anódica y la corriente de rejilla, en conjunto, forman la corriente electrónica emitida por el filamento.* Las características permiten de seguir este fenómeno, mostrando que la corriente Ig nace desde el momento en que el valor de la tensión de la rejilla Vg es mayor que 0, es decir, positiva.

Si bien es cierto que la corriente Ig es muy importante en las válvulas emisoras, no presenta sino un interés secundario para las tensiones de rejilla poco elevadas, aplicadas a las válvulas receptoras o amplificadoras. Mucho más importante es la conducción de corriente anódica bajo tensiones débiles de rejilla, negativas o positivas. Esta conductivilidad puede representarse gráficamente.

Para una tensión anódica determinada se modifica gradualmente la tensión de rejilla, indicándose las corrientes anódicas como ordenadas y las tensiones de rejilla como abscisas. Obtendremos así curvas mostrando la relación entre la tensión de rejilla y la corriente anódica para una tensión anódica determinada. Estas curvas se llaman características de los triodos. Así como la válvula de dos electrodos no tiene sino una característica, se pueden trazar varias para un triodo, puesto que modificando la tensión anódica se obtiene otra curva. Es por esta razón que cuando se habla de la característica de la válvula de tres electrodos es necesario siempre indicar *la tensión anódica con que ha sido obtenida.*

Estudiaremos ahora la válvula en sus funciones de detectora y luego detallaremos algunas de las más importantes nociones relativas a los triodos.

En realidad, las válvulas de más de tres electrodos no son sino triodos perfeccionadas, ya sea para reducir su capacidad interna (válvula de rejilla pantalla), suprimir la emisión secundaria de la placa (pentodo), reunir una triodo y una pentodo para reducir el ruido de fondo (octodo), etc. Como que esta obra tiene por objeto fundamental explicar los principios básicos de la radioelectricidad, todas las explicaciones las haré con las triodos,

que me permitirá simplificar y ver más claramente los fundamentos de la radio, que son independientes de los perfeccionamientos que pueden hacerse con los elementos empleados.

Detección.— Del estudio que hemos hecho de la válvula mediante sus curvas veremos que es posible utilizarla de dos formas distintas para detectar. La primera consiste en aplicar a la rejilla las variaciones de voltaje recibidas de forma que nunca llegue a ser positiva: estas variaciones de voltaje controlan la resistencia del circuito de placa; segundo, si hacemos que las variaciones del voltaje recibido actúen variando de cero en más y en menos, controlará el paso de electrones.

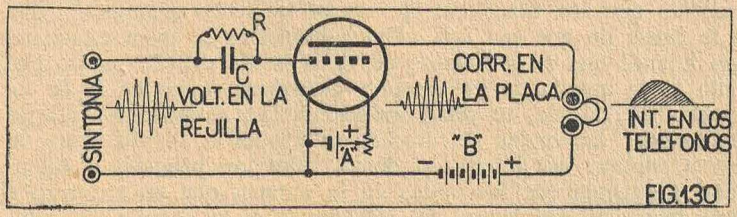
El primer caso se funda en utilizar la variación de la corriente de placa al variar el voltaje de la rejilla. Esta variación (Fig. 124) vemos que no es simétrica para un punto dado de la porción inferior de la curva y, por lo tanto, si hacemos la rejilla 1 voltio negativa y admitimos que las variaciones de tensión siguen una ley senoidal y varían de + 1 a — 1, las variaciones aplicadas a la rejilla tendrán por valor de — 2 a 0, es decir, variarán del punto *a* al punto *b*. Debido a la curvatura vemos la desigualdad de variaciones de corriente producidas por los cambios de variaciones de voltaje de rejilla: por una parte (de — 2 a — 1) 0,15 miliamperios, y por la otra (de — 1 a 0) 0,2 miliamperios. Si, pues, recibimos una señal por medio de una antena y sintonizamos el circuito para obtener las máximas variaciones de potencial entre el filamento y la rejilla, y ajustamos este circuito de forma que cuando reciba el máximo voltaje positivo sea nula la corriente del circuito de la rejilla, el circuito de placa reproducirá la señal en forma *desimétrica* y, por lo tanto, por los teléfonos pasará una corriente que será un promedio. Si suponemos una onda de 300 m. (un millón de períodos por segundo) modulada por una nota de 100 vibraciones, podemos suponer como si se recibiesen cien trenes de ondas con 10.000 períodos cada tren, y precisamente el promedio de estas 10.000 vibraciones produce una atracción en la membrana de los auriculares y el millón de períodos producirá 100 atracciones a la membrana, es decir, nos reproducirá *la nota* que moduló la onda emisora. Este proceso se llama *detección* y, como vemos, es contrario a la *modulación*, por cuyo motivo algunos autores han llegado a llamarlo *demodulación*.

Con el método que acabamos de describir, la rejilla se conecta directamente a un extremo del circuito de sintonía, intercalando solamente una batería "C" para dar a la rejilla una tensión tal que trabaje en la porción inferior de la curva. A este sistema se le llama de "Detección por la Característica de Placa", o sencillamente, "Detección por Placa".

En este procedimiento el promedio del cambio de la corriente de placa es proporcional casi, al cuadro de la amplitud del voltaje aplicado a la rejilla.

La detección por medio de una válvula electrónica se puede también efectuar utilizando la curva que relaciona el voltaje de la rejilla con su intensidad (Fig. 125), llamándose a este procedimiento "Detección por la característica de la Rejilla" o, abreviadamente, "Detección por Rejilla".

Esta segunda solución es un poco más complicada que la anterior; pero, como que es la más usada, la describiré en detalle. Supongamos que una señal es recibida por la antena: sintonizamos el aparato y entonces ocurrirán en los bornes del condensador variable las máximas diferencias de tensión, las cuales se aplican



por una parte al filamento y por la otra a la rejilla a *través* del condensador C (recuérdese que los voltajes son alternos, Fig. 130). Como que la curva no es simétrica en la parte inferior, supongamos que el punto de trabajo sea a + 0,4 voltios: las variaciones *positivas* provocarán un gran paso de electrones en el circuito de rejilla, mucho más considerable que la disminución correspondiente a cuando sea *negativa*. Ahora bien, cuantos más electrones tenga almacenados la rejilla, más negativa será y, por consiguiente, más repelerá los electrones que van del filamento a la placa, es decir, *disminuirá la corriente filamento-placa* y, por lo tanto, vemos como las variaciones de potencial recibidas controlan la intensidad de placa, en este caso *mucho más eficazmente que en el primer ejemplo.*

Si analizamos el efecto descrito, observaremos que a cada tren de ondas que se recibe es necesario que la rejilla *pierda* los electrones que ha absorbido (pudiéndose considerar al condensador C como un depósito auxiliar), y a este fin, se conecta, en paralelo con C, una resistencia R de elevado valor, de 1 a 5 megohmios, permitiendo así un *escape*. Del adecuado valor del condensador y de esta resistencia depende, por lo tanto, el buen funcionamiento de una válvula como detectora, puesto que si la resistencia es muy elevada no hay bastante fuga de electrones y

en cambio, si es de un valor muy bajo, se escapan demasiados. Se ha encontrado, en la práctica, que una capacidad de 0.000250 microfaradios y una resistencia de 2 megohmios a 5 megohmios, es adecuada. Para este sistema de detección es, pues, indispensable que la rejilla sea llevada a un potencial positivo con respecto del filamento. Esto se realiza conectando la resistencia de escape del lado positivo del filamento.

La válvula como amplificadora. — Ya hemos visto que una pequeña variación de potencia en el circuito de la rejilla produce, o podríamos decir más propiamente, provoca, una gran variación de potencia en el circuito de la placa. Obsérvese que no alteramos con esto la ley de la conservación de la energía, puesto que la potencia del circuito de la placa es producida exclusivamente por la tensión "B". Luego, a la par que detecta, la válvula amplifica, mientras que los detectores de cristal *detectan solamente;* esta es la causa de que con una válvula detectora se oyen estaciones más lejanas que si utilizamos un detector de cristal, puesto que tanto en la antena de un receptor de galena, como en la de un detector de válvula, se están induciendo constantemente voltajes creados por las ondas de muchas estaciones a la vez, pero la galena, aunque las detecte, es de un valor tan pequeño la intensidad producida por las ondas en la antena, que no alcanzan a hacer mover la membrana del teléfono. Con la válvula, en cambio, como que a la vez que se detecta se amplifica, se oyen varias estaciones donde con un detector de cristal no se oye ninguna, o una sola. En resumen, con el detector de galena la energía recibida por la antena es la que hace mover la membrana del teléfono, mientras que en una válvula la energía recibida sólo se emplea en la rejilla, siendo la tensión "B" la que alimenta los teléfonos, actuando la rejilla como una válvula de paso.

De la curva de la figura 124, que relaciona la corriente del circuito de la placa para una variación determinada del voltaje de la rejilla, vemos que hay una porción *recta*, casi, desde cero voltios a 6 voltios, positivos, con 60 voltios en la placa. Por lo tanto, si hacemos variar el voltaje de la rejilla, a partir de 3 voltios, desde cero a 6 en forma senoidal, en el circuito de placa tendremos la reproducción de aquella curva. Observemos que cuando no aplicamos la variación de voltaje tendremos 3 voltios y, por lo tanto, la intensidad de placa será de 1,4 miliamperios, mientras que al pasar de 0 a + 6, la corriente tendrá los valores extremos de 0,8 miliamperios a 2 miliamperios, es decir, *la corriente variable se superpone a la corriente continua.*

Con estos conocimientos previos, ampliaremos el estudio de las curvas de las válvulas. Supongamos que tenemos 40 voltios en la placa y hacemos variar la rejilla de 0,5 a 1 voltios, posi-

tivos; la corriente de rejilla (Fig. 125) variará de 1,3 microamperios, luego la variación equivale a 0,5 voltios y 4,7 microamperios, es decir [4], una potencia de 2,35 *microvatios*. Por otra parte (Fig. 124) esta variación de 0,5 voltios a 1 voltio, positivos en la rejilla, produce un cambio en la corriente de placa de 0,45 miliamperios a 0,54 miliamperios, es decir, equivale a una variación de intensidad de 0,09 miliamperios (o sean 90 microamperios), que multiplicados por los 40 voltios que tenemos en la placa nos darán [4] 3.600 *microvatios*. Esta potencia es la que se absorbe de la batería "B", mientras que los 2,35 microvatios es la potencia consumida en la rejilla. Esta relación, es, pues: $3600/2{,}35 = 1532$, en este caso, siendo éste el *factor de amplificación de potencia* de la válvula que estamos considerando.

Hay aún muchas otras relaciones que se deducen de las curvas de una válvula que no podemos tratar ahora debido al carácter de divulgación elemental de esta obra. Sin embargo, ya se ve, con lo demostrado, la utilidad de saber interpretar las curvas de las válvulas.

Queda, pues, bien demostrado que toda variación de voltaje en la rejilla nos produce una variación de intensidad en el circuito de placa, intensidad que en el caso de funcionar la válvula como amplificadora podemos hacer pasar por unos teléfonos y los movimientos de la membrana nos reproducirán una nota determinada por su número de vibraciones. Resulta de esto que si colocamos una válvula que amplifique el voltaje inducido por una onda continua de 300 metros, en la placa saldrá el millón de períodos amplificados; pero si hacemos pasar esta corriente por unos auriculares, no oiremos nada: en primer lugar, porque nuestro oído no percibe sonidos de tan elevada frecuencia, y luego porque la membrana de un teléfono, debido a su inercia, no puede seguir tan rápidos vaivenes. En cambio, si *detectamos* esta onda (que supondremos modulada por una nota de 1.000 vibraciones), pasarán por el teléfono 1.000 variaciones por segundo y, por lo tanto, producirá una nota audible.

Luego, podremos amplificar *antes* y *después* de detectar. Debido a que las primeras frecuencias, elevadísimas, se emplean en radio y las bajas son audibles, a la amplificación antes de detectar se la llama de *radiofrecuencia*, y la que se hace después de detectar se la denomina de *audiofrecuencia*.

Tengamos presente que lo que nos interesa es poder aplicar grandes variaciones de potencial a una rejilla de una válvula, puesto que cuanto mayores sean estas variaciones, mayores serán las diferencias de corriente en el circuito de la placa. Como que en el circuito de placa disponemos de corriente, debemos de producir, mediante una caída de tensión, esta diferencia de voltaje

necesaria. Sabemos que podemos originarla por medio de una *impedancia,* una *resistencia* o un *transformador* y, por lo tanto, podemos proyectar y construir amplificadores de estos tres sistemas.

Ahora es el momento oportuno de recordar lo explicado en detalle en la pág. 89 que *el rendimiento de un generador de energía es máximo cuando la resistencia exterior es igual a la del generador.* En aquella circunstancia vimos, mediante una curva, como el rendimiento decae cuando la resistencia del circuito exterior es más pequeña que la del generador, y de la forma que se mantiene el rendimiento casi constante al sobrecargar la resistencia exterior. Por consiguiente, conociendo las variaciones de la intensidad, sabemos las variaciones de la resistencia interna del circuito filamento-placa de la válvula (resistencia del generador), no debiendo nunca ser menor la resistencia (o impedancia) del circuito exterior que la menor de estas resistencias interiores. Vale más sobrecargar la resistencia exterior, máxime teniendo en cuenta que lo que queremos conseguir son grandes variaciones de tensión. Por este motivo, la carga del circuito exterior se hace doble y triple de la resistencia interna de la válvula.

Por lo tanto, si hace un amplificador acoplado a resistencias, y la válvula ofrece una resistencia de 15.000 ohmios, no se le ocurra emplear resistencias de 10.000, sino de *al menos* 15.000 ohmios. Si la hace a impedancias (bobinas de choque) la reactancia [42] calculada para una *frecuencia determinada* (elija la más baja) no debe ser nunca menor de 15.000 ohmios; finalmente, en el caso de emplear un transformador, el cálculo se complica, puesto que debemos de tener en cuenta el acoplamiento; pero para simplificar, admitiéndolo igual a 1, vamos a un cálculo semejante al caso de la bobina de choque, con la ventaja de que mediante la relación de transformación puede aumentar la relación de voltaje. Trataremos esto en cada caso a continuación; pero para empezar a tener una idea de conjunto, digamos que el acoplamiento a resistencias, si es una resistencia pura (no inductiva) *su valor no cambia con la frecuencia* y por lo tanto, su curva de amplificación es una línea recta, es decir, amplifica todas las notas igualmente, mientras que con los acoplamientos a impedancias y transformadores, puesto que *f* interviene como factor, predomina la amplificación de ciertas notas.

La amplificación en audiofrecuencia. — Su objeto es amplificar las señales ya detectadas a fin de hacerlas audibles en el altavoz. Si se trata de recibir música, es necesario sobre todo que la amplificación se efectúe sin distorsión. Los sonidos vocales y musicales se componen, en general, de una nota fundamental a la cual se superponen un número más o menos grande de *harmónicos,* cuya intensidad es variable. El número de harmónicos y su relativa amplitud determinan el *timbre* del sonido. Para

que la relación entre los diversos sonidos permanezca invariable, es necesario que todos sean amplificados igualmente, sinó el timbre cambiaría. La amplificación en audiofrecuencia debe, pues, amplificar uniformemente todas las frecuencias audibles interesadas, es decir, las frecuencias comprendidas entre 50 y 10.000 períodos por segundo.

Cuando no se amplifica en esta forma, la amplificación se deforma, es decir, hay *distorsión.*

La deformación puede provenir del empleo de válvulas inapropiadas, de una mala regulación o también de acoplamientos parásitos entre diversas partes del amplificador de audiofrecuencia.

Para obtener una amplificación pura es necesario limitar el funcionamiento a la parte *rectilínea* de la característica. Esta parte, además, debe estar situada enteramente *en la región de*

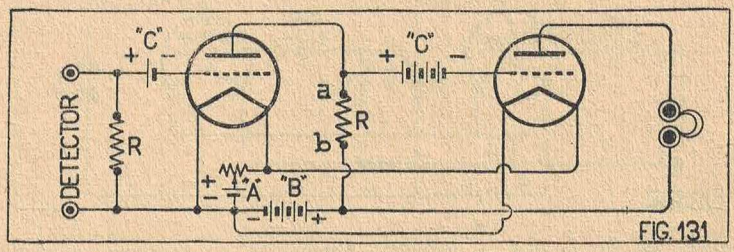


FIG. 131

las tensiones negativas de la rejilla, es decir, que las fluctuaciones de la tensión de la rejilla no puedan jamás comunicar a ésta una tensión positiva durante el funcionamiento de la válvula. En efecto, ya hemos hecho observar que cuando la rejilla es positiva, una parte de corriente electrónica vuelve por la rejilla. Cuando el amplificador es a transformadores, éstos funcionan en vacío durante todo el tiempo que la rejilla es negativa y por lo tanto, no hay corriente. Al contrario, ellos funcionan en carga desde el momento en que la rejilla es llevada a un potencial positivo. Este funcionamiento, alternativamente en vacío y en carga, provoca una seria deformación que debe evitarse a toda costa. Puede suprimirse aplicando una polarización negativa de rejilla con respecto del filamento.

Hay tres procedimientos para amplificar en audio frecuencia: a *resistencias,* a *impedancias* y finalmente a *transformadores.*

La amplificación a resistencias, en su forma más simple, se indica en la figura 131; se compone de una sucesión de válvulas, teniendo interpuesto, entre la placa de una válvula y la rejilla de la siguiente, una batería "C" de una tensión tal que las variaciones de voltaje aplicadas a ella no la hagan nunca positiva

en su *pico* máximo. El voltaje de las placas se aplica a través de la resistencia R entre cuyos bornes *a* y *b* se producen caídas de tensión cuyo valor, a cada instante, es igual al producto de R por la intensidad I de la placa; estas variaciones de tensión, al aplicarse a la rejilla de la segunda válvula, producen variaciones de corriente de la placa, según sabemos.

Este amplificador que hemos explicado, sirve también para amplificar una *corriente continua;* es uno de los escasos tipos que pueden realizar este efecto.

Este sistema de amplificación tiene el inconveniente de necesitar una batería "C" de mucho voltaje, pues tiene que contrarrestar el que se aplica a la placa y además las variaciones de tensión aplicadas, de forma que el pico máximo coincida con el cero

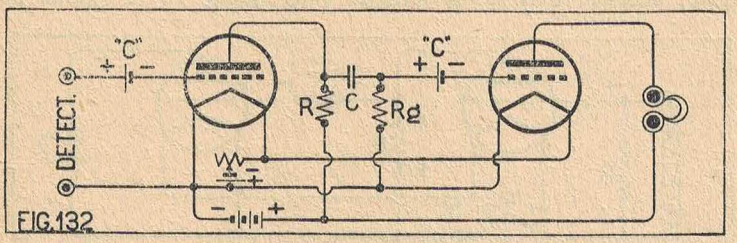


FIG.132

voltios de la rejilla (o menos), porque si es positiva, absorbe electrones y produce una *distorsión* de los sonidos.

Una variante del esquema que hemos indicado es el que ilustra la figura 132, conectándose entre R y la rejilla un condensador C que hace innecesario contrarrestar la tensión aplicada a la placa, porque la corriente continua no pasará, pero sí las fluctuaciones de la corriente. Es asimismo necesario tener una batería "C" para que la rejilla no sea nunca positiva, pero en este caso bastan generalmente de 2 a 4 voltios, según la válvula empleada, el voltaje que se aplica a la placa y su curva característica. La resistencia R*g*, colocada entre el condensador C y la rejilla, actúa como una resistencia de escape, siendo su valor muy elevado, unos 2 megaohmios.

En un amplificador de esta clase, la amplificación, en voltios, viene determinada por la expresión:

$$\mu \times R/(\rho + R) \qquad [109]$$

donde se tiene:

μ = factor de amplificación de la válvula,
R = resistencia, en ohmios, o sea la carga R,
ρ = resistencia interna de la válvula, en ohmios.

El lector debe ya haber visto que en un amplificador de audiofrecuencia, todas las válvulas comunican su potencia a un dispositivo que crea una *diferencia de tensión* excepto *la última,* que utiliza la *intensidad.* En cambio, los amplificadores de radiofrecuencia, sólo obtienen variaciones de tensión.

La sucesión de un acoplamiento y una válvula se le llama, generalmente, *paso de amplificación,* que es la traducción literal de como lo denominan los norteamericanos; en cambio, otros le llaman *etapa.* Debido a la generalización de su uso, emplearemos el vocablo *paso.*

El amplificador de audiofrecuencia que estamos tratando, tiene una curva de amplificación que es sensiblemente una línea recta, lo cual significa que no *distorsiona,* es decir, todas las notas se amplifican con igual volumen. Desgraciadamente, este amplificador requiere grandes tensiones en la placa, de 120 a 150 voltios y a veces más, debido a que la caída de tensión producida por la resistencia R se resta a la de la batería; si suponemos que la placa debe trabajar a 60 voltios, por ejemplo, y su intensidad (figura 124) varía de 0,45 a 0,8 miliamperios (trabajando la rejilla de — 2 a 0), si consideramos una intensidad media de 0,65 miliamperios y una resistencia de 50.000 ohmios, tendremos una caída de tensión de 32,5 voltios entre los terminales de la resistencia, que, sumados a los 60 que necesitamos en la placa, resulta que la batería "B" debe tener una tensión de 92,5 voltios.

Como que las válvulas, al utilizarse como amplificadoras, deben producir grandes variaciones de corriente en el circuito de la placa, tenemos que elegir aquéllas cuyas curvas reúnan estas condiciones, especialmente en el último paso. La figura 133 indica la curva de una válvula muy apta como amplificadora; suponiendo de hacerla funcionar a 150 voltios en la placa, y admitiendo que se aplican a la rejilla variaciones de voltaje de — 9 a 0 voltios, la intensidad de la placa variará de 4 a 12 miliamperios. Esta porción de la curva es una recta y reproducirá, sin distorsión, las variaciones de tensión aplicadas a la rejilla.

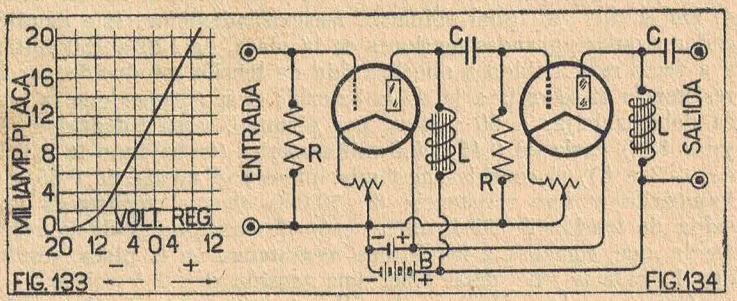
Antes de terminar la amplificación a resistencias, voy a explicar algunos detalles importantes. En primer lugar, la tensión negativa de la rejilla es necesaria, porque si fuese positiva en un instante determinado, pasaría corriente por ella, modificando, en consecuencia, la corriente de placa, es decir, produciría *distorsión.* En segundo lugar, en vez de batería "C" puede emplearse una resistencia, no inductiva, cuya caída de tensión sea equivalente al voltaje necesario. Con la curva de la corriente de rejilla y sabiendo el voltaje que queremos aplicarle, obtendremos R con la fórmula de OHM: $R = E/I$; así por ejemplo, si admitimos I igual a 2 microamperios y E 6 voltios, tendremos para R un valor de

3 magohmios, la cual nos servirá, simultáneamente, para descargar los electrones que absorbidos por la rejilla, se hubiesen acumulado en el condensador C.

La *amplificación a impedancias* (bobinas de choque) tiene ventajas e inconvenientes sobre la amplificación a resistencias.

Las ventajas son, que pudiendo hacer la resistencia óhmica prácticamente despreciable con respecto a la reactancia [42], la batería "B" puede tener un voltaje menor; en cambio tiene el inconveniente siguiente: puesto que *la reactancia varía con la frecuencia* no todas las notas (o frecuencias) se amplifican igualmente.

La figura 134 ilustra el esquema, similar al anterior, pero que se ha reemplazado la resistencia R por la inductancia L.



Resulta de esta figura, que las variaciones de tensión aplicadas a la rejilla de la válvula siguiente, dependerán de la impedancia de L, siendo pues conveniente de hacer L tan grande como sea posible, es decir, que la reactancia ofrecida para una frecuencia media sea al menos igual al doble de la resistencia interior de la válvula.

La amplificación m en este tipo de acoplo viene determinada por la expresión:

$$m = \mu \times 2\pi f \times L/\sqrt{(\rho^2 + \omega^2 L^2)} \qquad [110]$$

si la bobina tiene una resistencia R, entonces tendremos:

$$m = \mu \sqrt{\frac{R^2 + 4 \times \pi^2 \times f^2 \times L^2}{(R+\rho)^2 + 4\ \pi^2\ f^2 \times L^2}} \qquad [111]$$

en estas dos expresiones, las letras significan lo siguiente: L=valor de la inductancia, en henrios; f = frecuencia que se amplifica; μ = factor de amplificación de la válvula; ρ = resistencia interna de la misma.

Resulta de esto que las notas más altas se amplificarán más y las notas bajas menos, puesto que *f* interviene como factor en el cálculo de la reactancia de una bobina. Sin embargo, como que la audiofrecuencia es relativamnte baja y necesitamos, por lo tanto, una reactancia del orden de miles de ohmios (doble de la resistencia interior de la válvula), necesitaremos muchas espiras de hilo, lo cual significa que entre espiras tendremos mucha capacidad, cuyo efecto tiende a neutralizar la amplificación de las notas altas y a aumentar el de las bajas; resulta de todo esto que la curva sufre una rectificación, tendiendo a semejarse a la de un amplificador a resistencias.

El cálculo de L es semejante al de R del caso anterior, con la diferencia que ahora se emplea la fórmula [42].

El interrumpir el circuito de rejilla mediante un condensador fijo es igualmente necesario, como en el acoplamiento a resistencias; asimismo es necesaria la resistencia de escape.

La capacidad de este condensador es muy pequeña, puesto que su misión, como ya he explicado, consiste en aislar la tensión de la placa y almacenar los escasos electrones que van a la rejilla.

Observe el lector que ante todo es necesario conocer los valores y características de la válvula a emplear y de acuerdo con estos valores ir determinando las cantidades.

El acoplamiento a transformadores, cuando se trata de amplificar una zona limitada de frecuencia, reúne ventajas sobre los dos sistemas mencionados anteriormente, debido a que podemos obtener en el secundario, variaciones de tensión muy elevadas mediante la relación de transformación.

Si suponemos un transformador ideal, sin fugas, con un factor de acoplo igual a la unidad, con una carga en el secundario que sea una resistencia pura R (no inductiva), la amplificación *m* viene determinada por la expresión:

$$m = \mu \times [R \times T/(R + \rho \times T)] \qquad [112]$$

donde las letras significan lo mismo que en los casos de los otros sistemas de acoplo y T la relación del transformador.

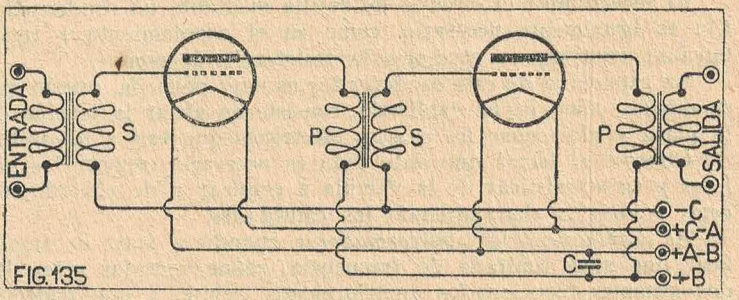
La anterior expresión es máxima, $m = \mu T/2$, cuando la relación del transformador es: $T = \sqrt{R/\rho}$.

Aparentemente, conviene emplear una gran relación como, por ejemplo, 1 a 20, pero veremos en seguida que esto no es conveniente. Sabemos que la relación de transformación depende del número de espiras entre el primario y el secundario; así, si tenemos 1.000 espiras en el primario y 5.000 en el secundario, la relación será de 1 a 5. Sin embargo, nos interesa que la resistencia del circuito exterior de la placa (primario) sea, al menos, igual

a la resistencia filamento-placa y, por lo tanto, el primario debe de tener muchas espiras, 4.000 por ejemplo, para que la impedancia ofrecida dé buen rendimiento a la válvula. Ahora bien, a menos de hacer transformadores muy voluminosos y costosos, es necesario mantener la relación de 1 a 2,5 y de 1 a 3,5.

Actualmente, se construyen transformadores de audiofrecuencia que reúnen estas condiciones y su curva de amplificación es muy plana, que con la perfección posible, se asemejan a las obtenidas con los dos casos anteriores: resistencias e inductancias.

Un esquema muy usado lo ilustra la figura 135. Las variaciones de intensidad de la placa hacen fluctuar el campo magnético del primario, que al abrazar el secundario, crean en él un voltaje



inducido tantas veces mayor como mayor es el número de espiras del secundario con relación a las del primario, variaciones de voltaje que se aplican a la rejilla de la válvula siguiente, y así sucesivamente con los varios pasos.

Como que a cada paso se van aumentando las variaciones de tensión, se acostumbra a emplear el primer transformador de una relación más elevada que los siguientes, para evitar la saturación del núcleo.

Empleando transformadores, el circuito de la placa está aislado eléctricamente del de rejilla de la válvula siguiente, pero están unidos por medio del campo magnético entre el primario y el secundario; por consiguiente, no es necesario emplear la batería "C" si no es para situar la rejilla en sus condiciones óptimas para trabajar la válvula como amplificadora a una tensión de placa determinada.

En el circuito de la placa de la última válvula se conecta el altavoz, que ofrece una impedancia relativamente baja. A causa de esta desigualdad de impedancias, es recomendable el empleo de un transformador de salida cuyo primario ofrezca una im-

pedancia igual a la del circuito filamento-placa de la válvula, y la del secundario sea igual a la del altavoz; esta relación acostumbra a ser de 3 a 1 ó de 5 a 1, produciendo un aumento de intensidad, que es lo que nos interesa en el altavoz.

Todos los sistemas de amplificación de la audiofrecuencia, pueden emplearse en la radiofrecuencia, siempre que se utilicen valores adecuados. Por ejemplo, podemos emplear transformadores con núcleo de hierro; pero, debido a las rapidísimas variaciones de corriente, esos núcleos deben de crear los campos magnéticos y disiparlos de acuerdo con las rápidas variaciones de intensidad.

Generalmente, la amplificación de radiofrecuencia se hace siempre mediante transformadores sin núcleo de hierro, de aire.

La radiofrecuencia, admitiéndose comprendida a partir de 10.000 períodos, los transformadores llamados de *frecuencia intermedia,* empleados en los superheterodinos, pueden tener núcleo metálico. El núcleo de un transformador crea corrientes de FOUCAULT, que crecen con la frecuencia, siendo necesario, para reducirlas, hacer el núcleo con láminas finísimas (de poco más o menos 3 centésimas de milímetro de espesor), de un material muy resistente a la corriente eléctrica.

Generalmente, los primarios no se sintonizan; sin embargo, debido a la capacidad entre espiras, tienen una cierta frecuencia propia.

Si consideramos al primario lo suficientemente alejado del secundario para que no haya acoplamiento, la reactancia será la que posea en la condición de resonancia; se supone que en paralelo con la bobina hay conectada la capacidad entre las espiras. Podremos, pues, calcular L sabiendo el valor de C a aquella frecuencia; pero debido a que ésta no es constante, la reactancia será variable. Si consideramos ahora el secundario aislado, la frecuencia de las variaciones de potencial aplicadas a la rejilla dependerán de los valores de la inductancia y la capacidad que la sintoniza. Conociendo el valor del condensador de sintonía, se determina el valor de L entre los límites de frecuencias que quieren sintonizarse, atribuyendo al condensador una capacidad residual equivalente a la décima parte de la capacidad máxima, determinando entonces las dimensiones de la bobina.

Para terminar la explicación de la válvula como amplificadora, un poco extensa, por cierto, debido a que me he permitido ligar una serie de fenómenos aislados de la primera parte, vamos a enumerar las dificultades más comunes con que el experimentador puede encontrarse.

Los *ruidos* producidos en el circuito pueden ser debidos a inducciones entre los conductores, especialmente los de rejilla y placa, que por efecto de capacidad (si están muy cerca) forman

un acoplamiento. Las disminuciones de tensión hacen que las válvulas trabajen en porciones distintas de la curva, produciendo a consecuencia de ello ruidos y a veces oscilaciones. Los contactos defectuosos producen crujidos, que resultan insoportables una vez amplificados.

Las oscilaciones ocasionadas por los acoplamientos producen en el altavoz una nota musical. Es uno de los defectos más difíciles de determinar en un amplificador. Generalmente es debido a haber hecho un aparato demasiado compacto y haber dispuesto los ejes de las bobinas paralelamente.

Cuando se emplean muchos pasos de amplificación, es necesario cerrar cada transformador y válvula correspondiente en un compartimiento metálico, pasando los conductores de un compartimiento al otro por un agujero que se adapte justamente al diámetro exterior del aislamiento del hilo.

A veces basta con rehacer una parte del circuito; a veces es necesario recurrir al acoplamiento a resistencias.

El bloqueo de una válvula puede ser debido a dos causas principales, de las que, la primera, es la más frecuente. Si la rejilla bruscamente adquiere un potencial positivo bastante elevado, debido a su proximidad relativa del filamento con respecto de la placa, puede absorber, durante un tiempo más o menos largo, toda la emisión de electrones del filamento y, por lo tanto, la corriente de placa será nula. Si en estas condiciones la resistencia de escape es muy elevada y permite sólo muy lentamente la fuga de los electrones absorbidos por la rejilla, este exceso de carga negativa limitará por un tiempo la corriente de la placa. El remedio consiste en mantener en la rejilla un potencial negativo tal, que el *pico* de voltaje positivo no permita pasar del cero el potencial de la rejilla, es decir, aumentar la tensión "C", o bien disminuir el valor de la resistencia de escape, según los casos.

La segunda causa del bloqueo es más rara, sobre todo en válvulas de poca potencia. Sin embargo, si se trabaja con miles de voltios en la placa, con tensiones negativas en la rejilla de muchas decenas de voltios, a veces, ésta, por el motivo antes explicado, se vuelve positiva, y si este valor alcanza unos 10 voltios, se produce una emisión electrónica que la mayoría de las veces es superior a la del filamento, sucediendo todo como si éste no emitiese electrones y, por lo tanto, no hay corriente en el circuito de placa.

La distorsión es producida por no trabajar las válvulas en las porciones rectas, debiéndose corregir este defecto con la tensión "C". Con la correcta interpretación de las curvas y aplicando las tensiones negativas necesarias a la rejilla, es posible conseguir una amplificación sin distorsión notable, según el tipo de acoplamiento empleado y la calidad de los componentes.

La válvula como osciladora.— Ya expliqué la diminuta potencia que se gasta en el circuito de rejilla comparada con la del circuito de placa (pág. 137); por lo tanto, mediante un acoplamiento, entre la placa y la rejilla, podemos absorber del circuito de placa esta pequeña potencia y mantener la válvula en una condición llamada de *oscilación eléctrica.*

Para que esto se realice, es necesario reunir dos condiciones: la primera es que la energía absorbida debe estar en fase con la aplicada a la rejilla; y la segunda condición es que debemos aplicar a la rejilla una variación de voltaje ligeramente superior a la que ha producido el paso de corriente anterior. Si aplicamos el mismo voltaje, lo *amplificaremos;* si es un poco superior, se producirán *oscilaciones.*

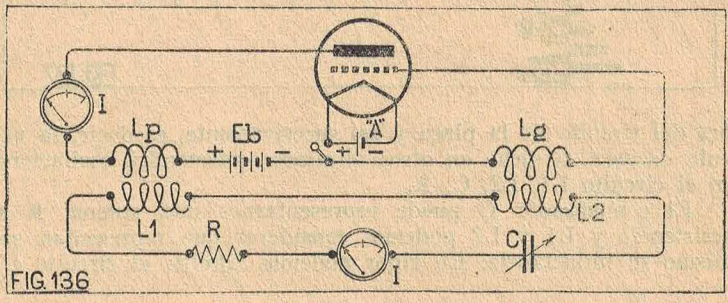


FIG. 136

Debido a este aumento de corriente, acostumbra a asimilarse el acoplamiento que motiva las oscilaciones, como una *resistencia negativa* intercalada en el circuito.

Según esto, parece que la rejilla absorbiendo cada vez más corriente, llegará a tomar valores grandes, pero no es así, porque al ponerse a oscilar una válvula, es cierto que la intensidad va aumentando de valor, pero cuando la impedancia del circuito de la placa equilibra su funcionamiento, la rejilla se regula automáticamente y absorbe solamente la energía necesaria para mantener las oscilaciones en el circuito. Cuando una válvula oscila normalmente, el valor máximo de la tensión de la rejilla coincide con el valor mínimo de tensión de la placa.

La figura 136 ilustra los componentes de un esquema cuyo acoplamiento, entre la placa y la rejilla, se efectúa por medio de un circuito independiente. Al cerrar el interruptor creamos una variación de voltaje, por pequeñísimo que sea, en la rejilla; esto provocará una modificación del paso de los electrones en el circuito de placa, que, a su vez, al pasar por Lϕ, en virtud del aco-

plamiento Mφ con L 1, inducirán en esta bobina una diferencia de tensión que ocasionará un paso de corriente por el circuito R C; esta corriente puesta en evidencia por el amperímetro I, al pasar por L2 creará un campo magnético, que, a causa del acoplamiento Mg, inducirá en Lg un voltaje que se aplicará a la rejilla, ocasionando una nueva variación en el paso de los electro-

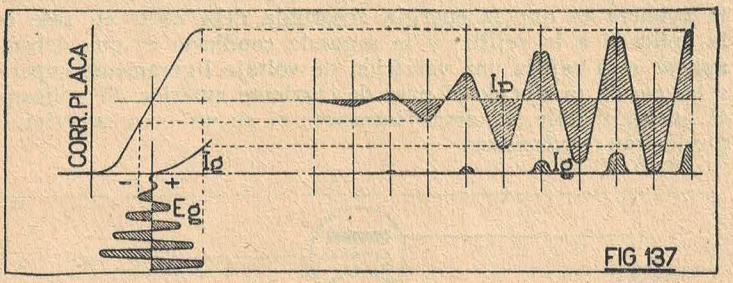


FIG 137

nes del circuito de la placa y así sucesivamente, es decir, la válvula *oscilará,* o dicho en otros términos, entretendrá oscilaciones en el circuito L1, L2, C, R.

El condensador C puede representarnos una antena, R su resistencia y L1 y L2 podemos considerar que representan asimismo su inductancia. En rigor podemos admitir el circuito L1,

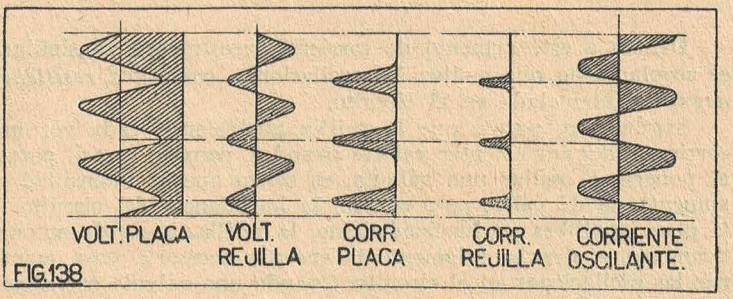


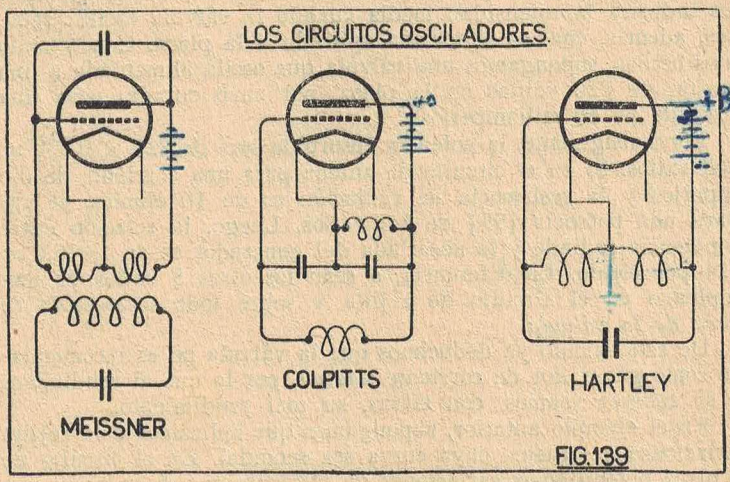
FIG.138

y L2, y C tal como se indica, cuyos valores corresponden a los de una antena determinada, pudiéndose así hacer las experiencias sin radiar. Este circuito se llama *antena artificial.*

Lo que sucede en este circuito podemos acabarlo de comprender haciendo referencia a la figura 137. Las variaciones de tensión de la rejilla crean variaciones mucho mayores en la amplitud de la corriente del circuito de la placa, hasta llegar un punto en

que la amplitud es constante; esto ocurre cuando la potencia deliberada por la placa es igual a la absorbida por el circuito L1, L2, C, R, más la necesaria para variar el potencial de la rejilla.

La figura 138 muestra claramente las diferencias de fase entre los voltajes y las intensidades de una válvula en estado de oscilación. Obsérvese que los voltajes de rejilla y placa son opuestos y que la corriente de placa está en fase con el voltaje de rejilla. Obsérvese también, como dijimos anteriormente, que el máximo de voltaje de la rejilla coincide con el mínimo del de la placa.



Asimismo vemos que cuando la rejilla es negativa, la corriente de placa llega a ser nula.

El acoplamiento entre la rejilla y la placa puede obtenerse de tres formas: por acoplamiento inductivo, por acoplamiento directo y por acoplamiento electrostático. Esquemáticamente representamos en la figura 139 estos tres circuitos con los nombres de *circuito* MEISSNER, *circuito* HARTLEY y *circuito* COLPITTS. En estos circuitos, las bobinas de choque deben de considerarse como elementos empleados para evitar que pasen las corrientes de radio frecuencia; las inductancias y condensadores que forman el circuito oscilante determinan la frecuencia del sistema.

Cuando se trata de obtener frecuencias elevadísimas (ondas cortas y ultracortas) se reducen los valores de la capacidad y la inductancia a valores pequeños, llegándose a obtener oscilaciones de unos 5 m. de longitud de onda. Teniendo en cuenta que pode-

mos construir un circuito en forma de puente de WHEATSTONE con las capacidades de la válvula, el circuito indicado en la figura 140 es excelente para experimentar y obtener longitudes de onda cortísimas.

La potencia de un circuito oscilante se aplica al circuito antena-tierra, o bien a un cuadro. La intensidad la mediremos mediante un amperímetro *térmico* colocado en un vientre de intensidad. Calcularemos la resistencia de radiación [98] y, admitiendo que sólo exista esta resistencia, determinaremos la potencia radiada. Por otra parte, un amperímetro conectado en el circuito de placa nos indicará la intensidad media cuando la válvula oscila; sabemos, además, cual es la tensión aplicada a la placa. Concretando estos hechos, supongamos una válvula que oscila alimentada a una tensión de 220 voltios en la placa, por cuyo circuito pasa una corriente de 30 miliamperios.

Por consiguiente, la potencia absorbida será de $220 \times 0{,}030 = 6{,}60$ vatios. Si en el circuito de antena pasa una corriente de 0,4 amperios y la resistencia de radiación es de 10 ohmios, se radiará una potencia [99] de 1,6 vatios. Luego, la relación entre la potencia radiada y la absorbida del generador es de $1{,}6/6{,}6 = 0{,}24$ por ciento. La diferencia, o sean los otros 5 vatios, se han empleado en el circuito de rejilla y sobre todo *calentando la placa de la válvula.*

De este cálculo ya deducimos que la válvula no es recomendable como generador de corriente alterna, por lo que al rendimiento se refiere; veamos, con cifras, su mal rendimiento.

En el ejemplo anterior, supongamos que aplicamos a la rejilla variaciones de tensión cuya curva sea senoidal. En el circuito de la placa obtendremos variaciones de corriente que si su *valor medio* fuese de 0,03 amperios, podrá variar, como máximo, de 0,06 a 0 y, por lo tanto, tendremos un valor efectivo de:

$$\text{I. ef.} = 0{,}030/\sqrt{2}.$$

Por otra parte, como que la tensión de placa no puede ser nunca negativa, podremos hacerla variar, a lo sumo, de 440 voltios a 0, y en estas condiciones tendrá un valor efectivo de:

$$\text{E. ef.} = 220/\sqrt{2}.$$

Por lo tanto, la potencia de la corriente alterna en el circuito de la placa será:

$$W = (0{,}030/\sqrt{2}) \times (220/\sqrt{2}) = 6{,}60/2 = 3{,}30 \text{ vatios.}$$

Luego vemos el rendimiento de una válvula, *cuando trabaja en sus óptimas condiciones, es del* 50 *por* 100, gastando la otra

mitad de potencia, calentando la placa, volviéndose por este motivo roja, en las emisoras potentes. Las válvulas que transforman varios kilovatios de potencia de corriente continua en corriente oscilante, tienen las placas en contacto con una circulación de agua fría que absorbe el exceso de calor.

En fin, la válvula osciladora permite usarse en distintas formas en la recepción de radio, ya sea *heterodinando* una corriente producida por una onda; como ondámetro cuya frecuencia y amplitud de oscilaciones sea constante, etc., de lo cual nos ocuparemos en esta obra.

La válvula como moduladora. — La modulación consiste en hacer variar la intensidad del circuito de la placa de acuerdo con una frecuencia que corresponda a un sonido, palabra, etc.

Para radiar una onda modulada, necesitaremos, pues, un circuito oscilante y un artificio que varíe la intensidad del circuito mediante una *resistencia variable*.

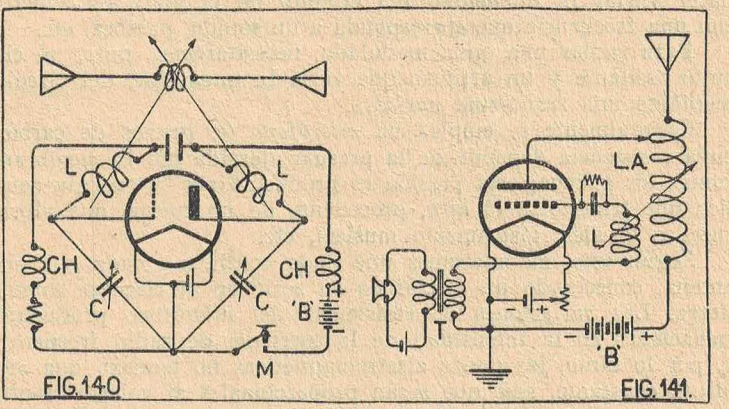
Generalmente se emplea un *micrófono* de granos de carbón, cuya resistencia depende de la presión ejercida por la membrana contra los granos; esta presión es producida por la energía acústica que transporta el aire, procedente de un cuerpo que vibra: cuerdas vocales, instrumento musical, etc.

Según esto, modularemos una onda continua creada por una antena, conectando un micrófono en serie en el circuito antena-tierra. Las variaciones de resistencia del micrófono producirán variaciones en la intensidad de la corriente de radio frecuencia y, por lo tanto, las ondas electromagnéticas no tendrán una amplitud constante, sino que serán proporcionales al valor instantáneo de esta intensidad. Este procedimiento, si bien es cierto que fué el primero que empleó el hombre para comunicar al éter las vibraciones de su palabra, sólo puede emplearse para reducidísimas potencias (hasta unos 5 vatios en la antena). Para potencias superiores se hace variar la resistencia de la placa de la válvula osciladora por varios procedimientos, de los cuales, los principales son dos: actuando en la rejilla, aprovechando las propiedades amplificadoras de la válvula y por medio de un sistema muy ingenioso debido a HEISSING, llamado de *corriente constante*. Indicaremos estos dos procedimientos y, sabiendo los principios, el lector puede hacer experiencias y, quizás, llegar a conclusiones aun no conocidas.

La modulación en la rejilla se emplea en pequeñas potencias con una eficiencia bastante aceptable. Como que al variar el voltaje de la rejilla varía la intensidad de la corriente de la placa, si estas variaciones corresponden a la corriente producida por un micrófono, habremos *modulado* la corriente de la placa. Para obtener variaciones de tensión adecuadas se intercala el micrófono

(Fig. 141) en el primario de un transformador, cuyo secundario se conecta al circuito rejilla-filamento.

El micrófono, en realidad, podemos considerarlo como una resistencia variable o bien como un convertidor de corriente continua en corriente pulsatoria. Según esto, nos interesa que la resistencia del micrófono más la de la batería, equivalga a la impedancia del primario; como que esta resistencia es relativamente baja y las frecuencias no son elevadas, esta reactancia será pequeña [42], lo cual significa que el transformador de micrófono debe de tener pocas espiras en el primario. El secundario, en cambio, debe de tener una impedancia elevada, porque la resistencia



rejilla-filamento es grande y la frecuencia, como que es la misma del primario, será relativamente baja. Esto nos favorece, porque nos permite construir un transformador de elevada relación y multiplicar así las variaciones de voltaje aplicadas a la rejilla.

En este momento recordaremos lo dicho en la página 74 respecto a los efectos de las inductancias y, por lo tanto, aumentaremos el efecto de la reactancia en el secundario.

Como resumen de todo esto, es conveniente emplear transformadores de elevada relación (de 1 a 20, por ejemplo), y tener presente que las excursiones del voltaje de rejilla se apliquen en puntos adecuados de la válvula que se quiera emplear.

La modulación puede considerarse como la superposición de dos frecuencias distintas; sin embargo, es preciso no confundir este efecto con el de *heterodinación,* que veremos más adelante, pues así como en este caso las dos amplitudes se *suman,* en el caso de la modulación se *multiplican.*

Como que la modulación tiene como objeto esencial hacer variar en su valor máximo la intensidad del circuito de la placa, y sabiendo que esta intensidad, cuando la válvula oscila, varía en más y en menos el valor de la corriente anódica continua (en ausencia de modulación), resulta que para obtener la modulación máxima debemos de hacer variar esta corriente ondulatoria de radio frecuencia desde el valor cero a dos veces el valor de la corriente continua. Esto se consigue aplicando variaciones de voltaje (de audiofrecuencia) a la rejilla, que produzcan la amplitud mencionada en la corriente ondulatoria de radiofrecuencia. La figura 142 nos permitirá fijar las ideas. Supongamos que las amplitudes de la modulación sean las que se indican: en A la modulación será escasa, en B será completa y en C será excesiva o *sobremodulación.* En este caso se detendrá la emisión durante unos instantes, correspondientes a los espacios no rayados.

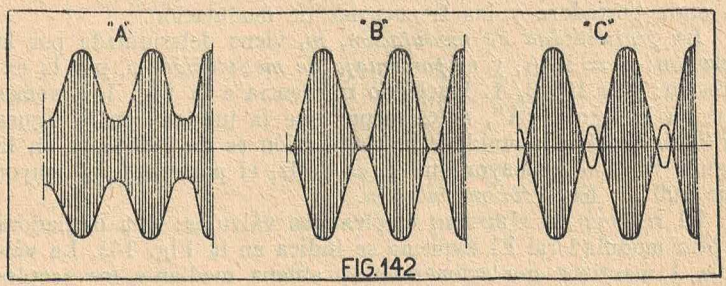


FIG.142

Puesto que no es posible mantener, en radiotelefonía, un punto adecuado de *modulación completa,* ya que las frecuencias varían en un amplio límite (hay notas bajas de unas 40 vibraciones y agudas de unas 8.000), aparte de sus distintas intensidades, es conveniente mantenerse entre el caso A y B. La modulación, con respecto de la amplitud de la onda, se la relaciona con su *profundidad* o *porcentaje,* representado por la letra k.

Si denominamos por A el valor de la intensidad de la corriente anódica contínua *en ausencia de modulación,* al aplicar a al regilla una tensión senoidal, es decir, que varíe según esta ley, o sea según *sen* $\omega\ t$, el valor constante A, variará entre $A + B$ y $A - B$, siendo B el valor de la semiamplitud de la onda moduladora, $\omega = 2\pi f$, y f la frecuencia audible. Luego, el valor de la amplitud de la corriente de radiofrecuencia variará según la expresión:

$$A \pm B \operatorname{sen} \omega t.$$

La corriente de radiofrecuencia i, cuya amplitud se encuentra modulada se determina por la relación:

$$i = (A + B \sin \omega t) \times \sin \Omega t, \qquad [113]$$

siendo $\Omega = 2 \pi F$, y F la radiofrecuencia.

Desarrollando la expresión que da el valor de i, encontramos:

$$i = A \sin \omega t + (B/2) \times \cos (\omega - \Omega) t - \\ -(M/2) \times \cos (\omega + \Omega) t. \qquad [113 \text{ bis}]$$

El segundo y tercer término representan, respectivamente, la banda lateral inferior y superior, conteniendo el espectro de frecuencias que es igual a la diferencia y suma, respectivamente, de la onda portadora y las frecuencias de modulación.

La *profundidad de modulación, m,* viene determinada por la relación: $m = B/A$, y el *porcentaje de modulación, p,* por la expresión: $p = 100\ B/A$. Haciendo referencia a la Fig. 142, vemos que en la figura "A", m es menor que la unidad; en la figura "B", es igual a la unidad, la modulación es de 100 %, y en la figura "C", m es mayor que 1, es decir, el porcentaje es mayor que 100 %: hay *sobremodulación.*

El *sistema* de HEISSING emplea dos válvulas: una osciladora y otra moduladora. El esquema se indica en la Fig. 143. La válvula 1 mantiene oscilaciones en la antena mediante los acoplamientos entre la rejilla y la placa. La válvula moduladora 2, tiene su rejilla y filamento conectados al secundario de un transformador en cuyo primario hay intercalado un micrófono. Las placas están alimentadas por una batería "B", común a las dos válvulas, a través de una bobina de choque CH, de gran inductancia. Entre la placa de la válvula osciladora y el punto común Q hay una inductancia L de pocas espiras y núcleo de aire.

Si no se habla ante el micrófono, la corriente de la batería microfónica BM hará circular una corriente continua a través del primario P y, por lo tanto, sin ningún efecto en el secundario. El voltaje de placa, Vb, será igual en el punto Q, desde donde se subdividirá, por una parte alimentando la placa de la válvula osciladora, que admitimos está radiando, y por otra parte la corriente continua que estará pasando por la placa de la válvula moduladora 2.

La bobina L, formada de hilo de cobre de uno o dos milímetros de diámetro, para no ofrecer resistencia a la corriente continua de placa, tiene una reactancia muy grande, debido a que la válvula está oscilando a una frecuencia elevadísima (según al onda radiada), de forma que la corriente ondulatoria de la placa se aplica a la inductancia de antena L.A., sin poder retro-

ceder a la batería "B", manteniendo la válvula 1 oscilando debido al acoplamiento entre la rejilla y la placa.

Tan pronto como una vibración sonora hiere la membrana del micrófono, variará la resistencia de sus gránulas, pasará una corriente variable a su través, que absorberá de la batería BM; esta variación de corriente inducirá un voltaje en el secundario, que se aplicará a la rejilla-filamento de la válvula moduladora 2. Ahora bien, ya sabemos que estas variaciones de tensión harán variar la corriente del circuito de la placa de esta válvula, y como que debido a la elevada inductancia de CH la intensidad de la corriente suplida por la batería "B" se mantiene constante, al pasar más corriente por la válvula 2 tendrá que pasar menos por

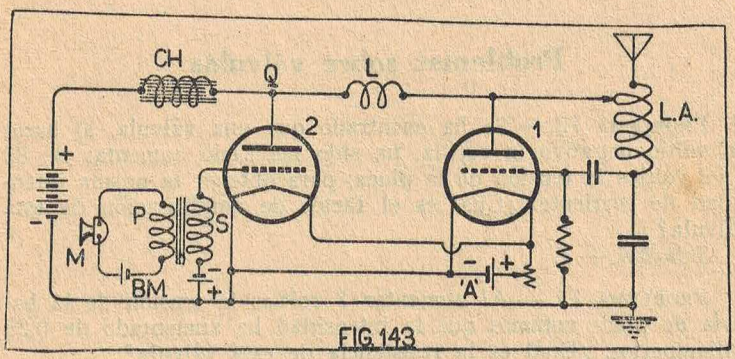


FIG. 143

la 1 (la osciladora); por lo tanto, haremos variar la corriente del circuito de la placa de la válvula osciladora.

La modulación obtenida con este esquema es superior a todas las otras conocidas hasta ahora y, por lo tanto, daremos una idea de cómo se calculan las constantes de este circuito.

La inductancia L debe producir un efecto de choque tal que nunca pasen corrientes osciladoras a la placa moduladora, y la bobina CH debe de ofrecer un efecto de choque que las notas más bajas que se transmitan no produzcan cambio en la corriente.

Ante todo, es necesario saber qué clase de válvulas desean utilizarse, debiendo ser ambas lo más iguales posible en sus características. Vamos a suponer que emplearemos válvulas que tengan una resistencia interior de 6.000 ohmios y que trabajaremos con una onda de 200 metros.

Es conveniente elegir para la L y CH un valor de inductancia tal que ofrezcan una impedancia de unas cuatro veces la de la resistencia de la válvula. Según esto, eligiendo para la

frecuencia musical más baja 100 períodos y correspondiendo a 200 metros de onda una frecuencia de un millón y medio de períodos, aplicando la fórmula que nos permite determinar la inductancia conociendo la frecuencia y la reactancia, tendremos:

$$L = 4 \times 6.000/6{,}2832 \times 1.500.000 = 24.000/9.425.000 = \\ = 0{,}0025 \text{ henrios.}$$

$$CH = 4 \times 6.000/6{,}2832 \times 100 = 24.000/628{,}32 = 38{,}2 \text{ henrios.}$$

Luego, la inductancia L es muy pequeña; puede hacerse con pocas espiras de hilo, mientras que CH debe de tener núcleo de hierro. Los diámetros de los conductores serán proporcionales a las intensidades de corriente que por ellos circulen.

Problemas sobre válvulas

PROBLEMA 72. — Se ha encntrado que una válvula, al hacer un voltio negativo la rejilla, ha sido necesario aumentar de 85 a 92 voltios la tensión de la placa, para obtener la misma intensidad de corriente. ¿Cuál es el factor de amplificación de esta válvula?

Solución. — 7.

PROBLEMA 73. — Al aumentar 7 voltios la tensión de la batería de placa notamos que la intensidad ha aumentado de 0,25 miliamperios. ¿Cuál es la resistencia de esta válvula?

Solución. — 28.000 ohmios.

PROBLEMA 74. — En un amplificador de audiofrecuencia se emplea una válvula cuya resistencia interna es de 12.000 ohmios. ¿Es conveniente emplear un transformador de relación elevada?

Solución. — No, al contrario. ¿Por qué?

PROBLEMA 75. — Sabiendo la resistencia interna de una válvula, ¿cuál debe ser la carga que debemos de dar en el circuito de placa? ¿Por qué la amplificación es más uniforme con acoplamiento a resistencias que con impedancias y transformadores?

PROBLEMA 76. — ¿Qué sucede si el pico del voltaje de una rejilla es superior a la tensión negativa de la batería "C"

Solución. — Distorsiona. ¿Por qué

PROBLEMA 77. — Un paso de amplificación acoplado a resistencias, tiene las siguientes características: resistencia interna = 30.000 ohmios; carga (resistencia exterior) R = 30.000 ohmios.

Factor de amplificación de la válvula = 25 = μ. (Emplear [109]). Se pregunta cuál es la amplificación en voltios.

Solución. — 12,5.

PROBLEMA 78. — ¿Cuál es la función de la batería de rejilla?

Solución. — Situar las variaciones de voltaje en la porción recta de la curva característica de la válvula.

PROBLEMA 79. — ¿Qué efecto produce si el valor de la tensión de la rejilla es inadecuado?

Solución. — Distorsiona. ¿Por qué?

PROBLEMA 80. — ¿Por qué se emplean válvulas llamadas de potencia en el último paso de audiofrecuencia, con voltajes de unos 150 voltios?

Solución. — Para tener más intensidad en el circuito del altavoz. ¿Por qué?

PROBLEMA 81. — Sabiendo que mediante un acoplamiento entre la rejilla y la placa podemos obtener el efecto de regeneración y de oscilación, ¿es posible aumentar indefinidamente la amplificación?

PROBLEMA 82. — ¿Puede emplearse una válvula cualquiera para obtener oscilaciones de frecuencias elevadísimas? ¿Qué limita su funcionamiento?

PROBLEMA 83. — ¿Qué sucede a una válvula osciladora si súbitamente deja de oscilar? ¿Hay peligro de destruir la válvula?

Solución. — Una válvula, al dejar de oscilar, tiene que disipar toda la energía en calor y, por consiguiente, la placa se pone roja y se funde rápidamente.

PROBLEMA 84. — ¿A qué es debido que con válvulas que trabajan a tensiones algo elevadas, al cabo de unos minutos de funcionamiento se nota un aumento de intensidad de la corriente de la placa, manteniendo constantes todos los valores de voltaje

Solución. — El bombardeo electrónico de la placa hace elevar su temperatura, calentando, por radiación, el filamento, aumentando su temperatura y, por lo tanto, se activa la emisión de electrones.

Estos problemas se indican a título de recapitulación de algunos de los puntos tratados en este capítulo. Los que no comprenda bien el lector, los acabará de entender al releerlo.

CAPITULO III

Amortiguamiento

Un circuito que contenga una capacidad y una inductancia, si se carga el condensador con una batería, por ejemplo, y luego se descarga a través de la bobina, se transfiere la energía del uno al otro (Fig. 144). En estas condiciones, se dice que el circuito *oscila* y la frecuencia viene determinada por la fórmula [80]. La condición de oscilar sólo es posible si se aplica energía de una fuente auxiliar, pues de lo contrario la *resistencia* del circuito absorbe energía, que se transforma en calor, y las oscilaciones se *amortiguan.*

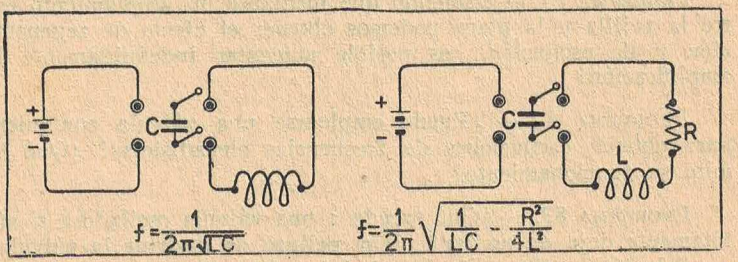


Fig. 144.—Circuito oscilatorio que se carga mediante una batería de pilas.

Fig. 145.—Circuito que permite determinar el amortiguamiento ocasionado por la resistencia adicional de un circuito.

Luego, si tuviésemos un circuito, *sin resistencia,* compuesto de un condensador y una bobina, este circuito oscilaría indefinidamente, lo mismo que un péndulo ideal (no consideramos radiación alguna).

Como que todos los circuitos poseen resistencia, resulta que hay siempre un amortiguamiento de las oscilaciones, siendo del mayor interés saber cuánto se *amortiguan* conociendo las constantes del circuito, es decir, L, C y R. Supongamos (figura 145) que tenemos un circuito compuesto de una capacidad, una inductancia y una resistencia, esta última variable; carguemos el condensador mediante una batería y descarguémosle a través de L y R. La teoría demuestra, y la práctica lo comprueba, que en un cir-

cuito como el presente, la frecuencia de las oscilaciones que se producen vienen dadas por la expresión:

$$f = 1/2\pi \sqrt{1/L.C - R^2/4L^2}; \qquad [114]$$

esta fórmula determina la *frecuencia natural* del circuito.

Pueden suceder tres casos:

1) Si $1/LC < R^2/4L^2$ el circuito no oscila. [115]
2) Si $1/LC = R^2/4L^2$ el circuito tiende a oscilar. [116]
3) Si $1/LC > R^2/4L^2$ el circuito oscila. [117]

En los casos 1) y 2) el circuito se dice que es *aperiódico*. En los circuitos de radio no se utilizan los casos 1) y 2), sino el 3)

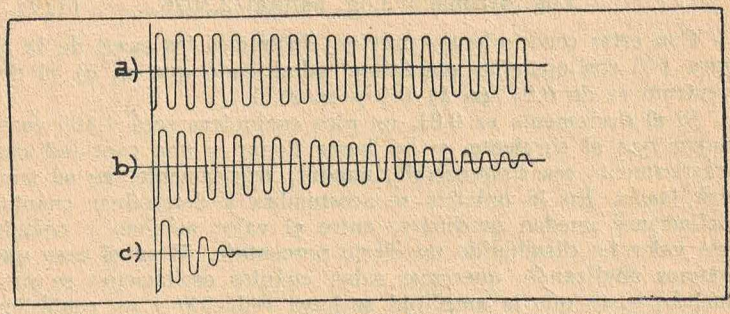


Fig. 146.—Representación gráfica de una onda continua a); una onda poco amortiguada b); onda muy amortiguada c).

y el valor $R^2/4L^2$ es tan pequeño con respecto de $1/LC$, que generalmente no se tiene en cuenta en los cálculos, y entonces tendremos nuevamente la fórmula [80]:

$$f = 1/2\pi \sqrt{L \times C}$$

Haciendo referencia a la figura 145, variando R y manteniendo fijas todas las otras condiciones, obtendremos las oscilaciones de la figura 146, siendo la *a*) casi de igual amplitud; la *b*) bastante amortiguada, y la *c*) muy amortiguada. Observamos en estas figuras que cada pico sucesivo es algo menor que el anterior, dándose el nombre de *decremento* a esta diferencia. Luego, si el primer pico, o hablando exactamente, la máxima amplitud, es de 1 y la siguiente 0,9, el decremento será de 0,1.

Obsérvese que esta relación se mantiene casi constante en cualquier pico que se tome, es decir, la misma diferencia hay entre el primero y el segundo, que entre el décimo y el onceavo, etc.

Debido a que facilita mucho los cálculos, en vez de utilizarse el decremento se emplea el *logaritmo natural* de la amplitud, dándosele el nombre de *decremento logarítmico*, o simplemente *decremento*. La figura 147 ilustra este punto.

Es necesario que el lector no confunda los logaritmos *naturales* con los *decimales*, que son, estos últimos, los que generalmente se utilizan y describen en las tablas de logaritmos. Sin embargo, para el cálculo de los decrementos no es necesario adquirir una tabla de logaritmos naturales, pues conociendo un logaritmo decimal, se convierte en natural multiplicándolo por 2,3026; luego:

$$\text{Log. natural} = \text{Log. decimal} \times 2{,}3026 \qquad [118]$$

y también:

$$\text{Log. decimal} = \text{Log. natural}/2{,}3026. \qquad [119]$$

Con estos conocimientos previos, ilustremos los casos de la figura 146 con ejemplos numéricos, admitiendo que en *a*) el decremento es de 0,01, en *b*) 0,1 y en *c*) 1.

Si el decremento es 0,01, un pico cualquiera será 1.105 veces mayor que el siguiente, y así hasta llegar a una cantidad que prácticamente sea despreciable, aunque, teóricamente, no se anulará jamás. En la práctica se acostumbra a determinar cuántas oscilaciones pueden producirse entre el valor máximo y cuándo este valor ha disminuído un cierto porcentaje. Si en el caso que estamos analizando, queremos saber cuántas oscilaciones se producirán hasta que la amplitud se haya reducido a un centésimo de su valor máximo, encontraremos este valor dividiendo el logaritmo natural de 100 por 0,01; luego tendremos:

$$\text{Número oscilaciones} = 4{,}6/0{,}01 = 460.$$

(Recuérdese que, según [118], siendo el logaritmo decimal de 100 igual a 2, si multiplicamos esta cantidad por 2,3026 tendremos el logaritmo natural).

De la misma forma, si el amortiguamiento fuese 0,1 y 1, hallaríamos que el número de oscilaciones completas, hasta reducir su amplitud a un centésimo de su valor inicial, serían, respectivamente, 46 y 4,6.

En circuitos que la resistencia no sea muy grande, entonces se demuestra que el decremento es igual a:

$$\text{Decremento} = (R/6{,}2832 \times f \times L) \times 3{,}1416, \qquad [120]$$

lo cual demuestra que un aumento de resistencia o una disminución de la inductancia aumentan el decremento. Finalmente, teniendo en cuenta que la reactacia de la bobina es igual a la del condensador, en la condición de resonancia, tendremos finalmente:

$$\text{Decremento} = 3{,}1416 \times (R/Xc). \qquad [121]$$

Antes de ver cómo se determina prácticamente el decremento de un circuito, voy a explicar su significación. Una onda muy amortiguada obra como un impulso brusco y, por lo tanto, afectará a los receptores en un amplio límite de longitudes de onda: su efecto es semejante a un choque. Si, en cambio, la onda es muy poco amortiguada, cada ciclo transportará una pequeña fracción de la energía total y, por lo tanto, es necesario que el receptor sea capaz de utilizar *todas* estas pequeñas fracciones, de tal forma, que se sumen, bastando una pequeña variación para que no afecten al receptor.

El lector tendrá una idea clara de lo que representa un amortiguamiento grande y su efecto en la recepción, si tiene la des-

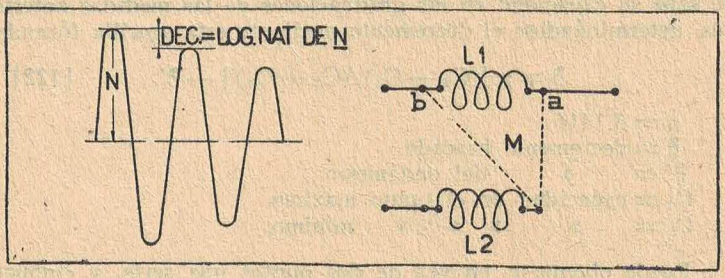


Fig. 147.—Determinación gráfica del decremento logarítmico de una onda.

Fig. 148.—Conexiones que son necesarias hacer a dos bobinas para determinar el valor de su inductancia mutua.

gracia de estar cerca de una estación telegráfica de chispa, sistema anticuado (el primero que empleó Marconi), que, afortunadamente, sólo emplean raros barcos, especialmente pesqueros.

Cuanto más pequeño es el decremento de una emisora, más aguda es su *curva de resonancia*. Téngase presente, sin embargo, que de nada sirve que una estación transmisora transmita con una onda muy aguda, si el receptor tiene mucha resistencia, puesto que entonces ya sabemos (Fig. 93) que su *curva de resonancia* será muy aplanada, es decir, será poco *selectivo*.

De cuanto acabamos de decir, se deduce claramente que el *decremento* es la disminución de la amplitud de dos máximos sucesivos de la corriente de un circuito oscilante.

El decremento se mide con un aparato denominado *decrémetro*, que es sencillamente un ondámetro con un indicador de intensidades, cuyas graduaciones están elevadas al cuadrado. Ge-

neralmente, los buenos ondámetros ya tienen este instrumento, especialmente los de fabricación americana.

Poseyendo un ondámetro así equipado, medir un decremento es sencillísimo, procediéndose de la forma siguiente: Se acopla inductivamente el circuito de antena con el *decrémetro* mediante una espira hecha en un punto tal del circuito de antena, que permita situar el *decrémetro* en un lugar que no se tenga que mover. Se pone la emisora en funcionamiento y se obtiene la deflexión máxima del galvanómetro variando la capacidad: es el punto de resonancia. Se anota la graduación del condensador, variando entonces la capacidad en *más* y en *menos*, hasta obtener en el galvanómetro exactamente *la mitad* de la intensidad obtenida en el punto de resonancia. Como que el condensador viene calibrado, se sabe su capacidad en las graduaciones de las medidas anteriores, determinándose el decremento mediante esta sencilla fórmula:

$$\delta = \pi\,[(C_2 - C_1)/(C_2 + C_1)] - \delta'. \qquad [122]$$

$\pi = 3.1416.$
$\delta =$ decremento buscado.
$\delta' =$ » del ondámetro.
$C_2 =$ capacidad en el punto máximo.
$C_1 =$ » » » » mínimo.

Puede obtenerse, en vez de dos puntos una serie, y entonces dibujar la curva.

El decremento del ondámetro ya viene indicado, si el aparato es bueno, procedente de una buena fábrica, pero es posible determinarlo, bien por comparación, haciéndolo trabajar como emisor, o bien mediante el cálculo. La siguiente fórmula permite determinar el decremento de un circuito conociendo su resistencia R, la inductancia L y su capacidad C:

$$\delta = 3{,}1416\ R\sqrt{C/L}. \qquad [123]$$

Dada la importancia que tiene para el radioexperimentador el determinar el decremento de una emisora, y que yo sepa al menos, nada se ha publicado hasta el presente en español sobre este tema, terminaré esta explicación con un caso numérico bien concreto y un problema.

Al determinar el decremento de una emisora, se encontró que el máximo de deflexión del galvanómetro (punto de resonancia) marcó 9 unidades. Variando la capacidad en más y en menos hasta obtener 4 ½ unidades del galvanómetro (mitad de 9), hallamos que esta ocurría al tener valores de 4 y 4,4, respectivamente.

Considerando despreciable el decremento del ondámetro y aplicando la fórmula [112], tendremos:

$$\delta = 3{,}1416 \times (4{,}4-4)/(4{,}4+4) = 3{,}1416 \times (0{,}4/8{,}4) = 0{,}15;$$

luego, el decremento es de 15 centésimas, permitiéndose, en la mayoría de naciones, que el decremento no sea mayor de 0,2. Por consiguiente, esta emisora transmitiría, por lo que al decremento se refiere, dentro de la ley.

PROBLEMA 85. — *¿Será autorizada para poder transmiir una emisora que en los puntos de la mitad de intensidad de la resonancia, el condensador variable indica las graduaciones de 3,8 y 4,6, respectivamente? ¿Cuál es el decremento de esta emisora?*

Respuesta. — No será autorizada. Casi 0,3.

CAPITULO IV

Mediciones usuales en radio

Las mediciones que principalmente interesan al experimentador son las de las *inductancias, capacidades* y *resistencias*. Naturalmente que hay aparatos costosísimos que permiten medir con toda exactitud las magnitudes de cualquier fenómeno de radio, pero entonces vamos a parar al caso de tener un laboratorio, en el cual hay que invertir muchos miles de pesetas, y no es éste el caso del radioexperimentador; en este momento creo muy oportuno recordar lo dicho por Branly, Payot y otros grandes pensadores: *la producción de un laboratorio está en razón inversa de los aparatos de que se disponen;* significando con esto que no son muchos instrumentos los que deben emplearse, sino cerebro.

No hay que interpretar esto en el sentido de no medir nada y expresarse con puro empirismo; muy al contrario, pero es preciso desvanecer la errónea idea de que si no se gasta mucho dinero no puede medirse nada.

Un voltímetro (de alta resistencia) de dos escalas, es decir, de 0 a 6 voltios y de 0 a 240 voltios, por ejemplo, y un amperímetro, permiten determinar la resistencia y, en general, comprobar la ley de OHM, utilizando las fórmulas indicadas en la primera parte de esta obra.

Los aparatos térmicos, como que están graduados para sus voltajes e intensidades eficaces, permiten medir indistintamente corrientes continuas y alternas.

El puente de WHEATSTONE descrito, permite medir rápidamente las resistencias, siendo sumamente útil el poseer este aparato, máxime sabiendo que las resistencias que acostumbran a medirse en radio son generalmente pequeñas, excepto en los transformadores y resistencias de escape.

Los voltajes pueden medirse fácilmente con voltímetros adecuados, excepto voltajes debilísimos, como por ejemplo, los aplicados a las rejillas de las válvulas, que pueden medirse fácilmente mediante el voltímetro electrónico, del cual nos ocuparemos en este capítulo.

Para utilizar un amperímetro para medir tantas escalas como se desee, ya se explicó cómo calcular los *shunts*, facilitando la posibilidad de utilizar un mismo instrumento para distintos propósitos (circuito de placa, de filamentos, etc.).

Finalmente, las mediciones que interesan al experimentador pueden efectuarse mediante un ondámetro: medir capacidades (de una antena, de un condensador fijo o variable); medir inductancias (antenas, bobinas, etc.); medir frecuencias y decrementos.

Nos ocuparemos, primero, de la medición de las capacidades y las inductancias, y a continuación describiremos algunas de las mediciones que pueden efectuarse con un ondámetro.

El ondámetro

Ya explicamos que el ondámetro consiste esencialmente en una capacidad y una inductancia, pudiéndose determinar la frecuencia de este circuito mediante [80]. También explicamos que, ya sea por medio de un vibrador o de una válvula, se puede introducir energía en este circuito, que entonces la radiará a una frecuencia igual a la del circuito del ondámetro, radiaciones que se ponen muy fácilmente de manifiesto mediante un radiorreceptor.

Usos del ondámetro

Calibrar un receptor

Si sabemos a cada graduación del condensador qué frecuencia (o longitud de onda) corresponde, y vamos marcando puntos de recepción en el aparato receptor (caso de hacer funcionar el ondámetro como emisor), es natural que calibremos nuestro aparato y, en consecuencia, al coincidir con los puntos que antes hemos marcado, podremos identificar estaciones transmisoras si sabemos con la longitud de onda que transmiten.

Podemos también identificar emisoras acercando el ondámetro cerca de la bobina de sintonía del receptor: al desaparecer la audición de la emisora que se está recibiendo, la frecuencia del circuito del ondámetro está sintonizado a la misma frecuencia; puesto que tenemos el ondámetro calibrado, sabemos acto seguido la longitud de onda de aquella emisión. Este procedimiento puede utilizarse también para separar estaciones molestas que el receptor no puede acabar de eliminar.

Medición de una capacidad

Si excitamos el ondámetro y hacemos funcionar un receptor de radio, recibiremos el zumbido si ambos aparatos están en sintonía y no muy alejados (unos 2 m. ó 1,5 metros, es conveniente). Ahora bien, sabiendo que dos capacidades en paralelo se suman, conectemos en *paralelo* con la del ondámetro la capacidad que deseamos medir: el zumbido se recibirá en un punto determinado de radiorreceptor, *cuyas graduaciones dejaremos fijas*.

Desconectemos ahora del ondámetro la capacidad que queremos medir. Naturalmente, como que la capacidad habrá disminuído, deberemos de aumentar la capacidad variable del ondámetro hasta volver a recibir el zumbido en el receptor. Es fácil de ver que la capacidad que hemos aumentado ahora es igual a la que antes hemos sacado (capacidad a medir), y como que sabemos los grados del condensador que hemos aumentado y éste está calibrado, sabremos acto seguido cuál es el valor de la capacidad en cuestión.

Luego, para medir una capacidad mediante un ondámetro, se empieza por conectar en paralelo con el condensador variable de éste, la capacidad a medir; se excita el ondámetro con el zumbador y se recibe, mediante un radiorreceptor, el zumbido. Se desconecta el condensador a medir, se aumenta la capacidad del ondámetro hasta volver a recibir el zumbido, calculándose el valor de la capacidad con la diferencia de graduaciones del condensador variable del ondámetro mediante su curva de calibrado. (En los condensadores de láminas semicirculares, esta curva es sencillamente una recta que une los valores extremos, aunque en estos puntos son ligeramente curvadas).

El procedimiento que hemos indicado es posible emplearlo solamente cuando la capacidad a medir es menor que la del condensador del ondámetro; si es mayor se emplea este otro procedimiento: Sabiendo que dos capacidades en serie disminuyen, se empieza por excitar el ondámetro y recibir el zumbido en el radiorreceptor, anotando la graduación del condensador variable del ondámetro (o, lo que es lo mismo, su capacidad, puesto que está

calibrado). Sea este valor C. Acto seguido conectamos en *serie* con la capacidad del ondámetro la que queremos medir; naturalmente, la capacidad ha disminuído y tendremos que variar la capacidad del ondámetro hasta volver a oir el zumbido en el receptor; sea C' este nuevo valor y denominemos Cx la capacidad desconocida. Según las fórmulas antes determinadas [65], hallaremos:

$$1/C = 1/C' + 1/Cx,$$

de donde determinaremos que el valor Cx será:

$$Cx = (C' \times C)/(C' - C) \qquad [124]$$

Luego, mediante un sencillo cálculo, podremos también determinar la capacidad Cx en este caso.

Medición de una inductancia

Los ondámetros, como ya se ha dicho en momento oportuno, poseen una curva del condensador variable, relacionando los grados del disco con las correspondientes capacidades. Asimismo se disponen otras curvas, indicando, para cada bobina, las longitudes de onda correspondientes. Generalmente se equipan los ondámetros con tres o cuatro bobinas, abarcando cada una de ellas distintas gamas de longitudes de onda. Por ejemplo, la bobina 1 puede sintonizar de los 60 metros a los 240, la bobina 2 de los 200 metros a los 450, y así sucesivamente.

Ahora bien, en cada bobina, se indica su inductancia L.

Sabiendo que dos inductancias en serie se suman, para medir la inductancia de una bobina, bastará con conectarla en serie con la del ondámetro, de forma que *sus ejes sean perpendiculares* y lo suficientemente alejados para que *su inducción mutua sea nula.* Se excita el ondámetro y se recibe el zumbido en el receptor, cuyas graduaciones quedarán fijas: sea C la capacidad correspondiente a la graduación del condensador variable del ondámetro. Se desconecta la bobina cuya inductancia queremos averiguar (cerrando ahora, naturalmente, el circuito del ondámetro en este lugar) y variamos la capacidad del condensador hasta volver a recibir el zumbido en el receptor: sea C' esta nueva capacidad.

Si L es la inductancia de la bobina del ondámetro y l la que queremos medir, hallaremos que:

$$l = L \times (C' - C)/C. \qquad [125]$$

Por lo tanto, el medir una inductancia es sumamente sencillo. L viene expresado en microhenrios y C en microfaradios.

Medición de la inducción mutua

Sabemos que se entiende por inducción mutua (parte I, capítulo II) el flujo que atraviesa un circuito inducido al pasar por el circuito inductor una corriente de un amperio. Luego, la inducción mutua variará con la posición respectiva de las dos bobinas, siendo el variómetro (Fig. 74) el que utiliza esta propiedad, y ya vimos la influencia máxima y mínima de la inducción mutua M.

Supongamos que queremos medir el valor de M de dos bobinas L1 y L2. Las conectaremos en serie, tal como indica la figura 148, con la del ondámetro (también en serie), y se mide la inductancia como se indicó en el caso anterior, estableciendo las conexiones indicadas en la "a". En este caso el valor de L será:

$$L = L1 + L2 + 2M,$$

puesto que todos los flujos se suman.

Conectemos ahora las bobinas (sin moverlas de sus respectivas posiciones), tal como se indica en "b", y volvamos a medir la inductancia. Hallaremos que su valor L' será igual a:

$$L' = L1 + L2 - 2M.$$

Restando miembro a miembro, encontramos:

$$L - L' = 4M,$$

y, finalmente:

$$M = (L - L')/4. \qquad [126]$$

Al efectuar estas mediciones, téngase en cuenta lo explicado al medir la inductancia, y muy especialmente que estas bobinas, cuya inducción mutua ahora hemos medido, no influyan, inductivamente, con la bobina del ondámetro.

Con los ejemplos anteriores se comprende el precioso auxiliar que es poseer un ondámetro en las experiencias de radio; sencillamente, es imprescindible. Es conveniente que el condensador tenga una capacidad de 0,001 de microfaradio y que sus curvas sean obtenidas muy pulcramente.

Terminaremos este capítulo indicando las mediciones de las constantes de las antenas, cuyos procedimientos pueden adaptarse a la medición de otros elementos.

Constantes de las antenas

Se da el nombre de constante de una antena al valor de su resistencia, capacidad e inductancia. Nos interesa saberlos medir, pues su procedimiento es adaptable a otros casos.

Medición de la resistencia en radiofrecuencia

Ya expliqué la diferencia entre la resistencia a la corriente continua y a la de la corriente alterna, y como crece la resistencia al aumentar la frecuencia de la corriente. El método que ahora daré *se aplica a todos los circuitos recorridos por una corriente de radiofrecuencia,* aunque materializaré la explicación relacionándolo con una antena.

Una antena posee capacidad e inductancia y, por lo tanto, es un circuito oscilante (abierto), con una *frecuencia propia;* además, tiene resistencia (a la corriente continua), cuyo valor varía con

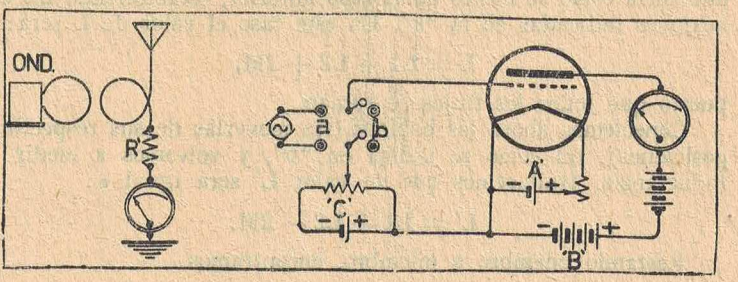


Fig. 149.—Disposición adoptada para calcular la resistencia de una antena.

Fig. 150.—Conexiones para la construcción de un voltímetro de válvula.

la frecuencia de la corriente que recorre la antena. Para medir esta resistencia R, hagamos un bucle en un punto de la antena y acerquemos un ondámetro emisor a cierta distancia (lo más alejado posible) y anotemos la intensidad que circula por el circuito de la antena al estar en resonancia con el ondámetro: sea I esta intensidad, Fig. 149.

Es fácil de ver que el ondámetro inducirá un voltaje E en la antena, cuyo valor, según la ley de OHM, será igual al producto de la resistencia R de la antena más la resistencia del amperímetro, multiplicada por la intensidad I que éste nos acusará. Digamos que debido a la débil intensidad que circulará, es necesario que este aparato de medida sea muy sensible (un galvanómetro, por ejemplo), con un par térmico para acusar las corrientes de radiofrecuencia. Luego tendremos:

$$E = (R + r) \times I,$$

siendo r la resistencia de los aparatos de medida.

Admitamos ahora que introducimos una resistencia conocida R', tal como indica la figura 149; si seguimos aplicando a la antena el mismo voltaje inducido, veremos que, naturalmente, la intensidad que nos acusará el aparato de medida habrá disminuído. Sea I' esta nueva intensidad; tendremos:

$$E = (R + r + R') \times I'$$

pero como que ambas ecuaciones son iguales puesto que E = E, tendremos evidentemente:

$$(R + r) \times I = (R + r + R') \times I'$$

deduciendo fácilmente que:

$$R = [R' \times I'/(I - I')] - r, \qquad [127]$$

es decir, la resistencia de la antena (o de un circuito oscilante cualquiera) es igual a la resistencia añadida (R') multiplicada por el resultado de dividir la segunda intensidad (I') por la diferencia entre la primera y la segunda (I — I'), substrayendo la resistencia de los aparatos de medida (*r*).

Este procedimiento, denominado de la *resistencia adicional*, es casi el preferido entre los varios que pueden emplearse.

Medición de la inductancia de una antena

Se explicó, al tratar las antenas, que la frecuencia fundamental es aquella que tiene una antena al no tener conectada ninguna capacidad ni inductancia adicional. En este caso la longitud de onda a que se sintonizará será:

$$\lambda = 1885 \sqrt{L\,(\text{en } \mu\text{h}) \times C\,(\text{en } \mu\text{f})}. \qquad [128]$$

Si ahora colocamos en serie con la antena, en un punto cualquiera, una inductancia L1 y excitamos el ondámetro, veremos la deflexión, máxima en el instrumento de medida cuando la antena esté en resonancia con el ondámetro.

Si λ^1 es esta longitud de onda, tendremos:

$$\lambda^1 = 1885 \sqrt{(L + L1) \times C}. \qquad [129]$$

Conectemos ahora, en vez de L1, otra bobina L2, y volvamos a obtener la resonancia de la antena con el ondámetro, lo cual ocurrirá a una longitud de onda $\lambda 2$, que nos acusará la deflexión del instrumento de medida conectado en la antena. Tendremos:

$$\lambda 2 = 1885 \sqrt{(L + L2) \times C}.$$

Efectuando los cálculos eliminamos el valor L (inductancia de la antena), sabiendo los valores de las dos bobinas que he-

mos adicionado (L1 y L2) y las longitudes de onda que han producido:

$$L = (L2 \times \lambda^2 - L1 \times \lambda^2{}_2)/(\lambda^2{}_2 - \lambda^2) \qquad [130]$$

Luego la inductancia se determina mediante un sencillo cálculo.

Medición de la capacidad de una antena

Sabiendo la inductancia de una antena, su capacidad se determina fácilmente deduciéndola de la fórmula [128]. Tendremos:

$$C = \lambda^2/1885^2 \times L'.$$

siendo λ la longitud de onda propia en metros, C en microfaradios y L en microhenrios. Si es unifilar, la longitud de onda es muy aproximadamente igual a cuatro veces la longitud del hilo, desde su extremo libre hasta el contacto a tierra. Sobre todo si es vertical la antena, este valor puede considerarse como suficientemente exacto. En todos los casos, sin embargo, se determina la frecuencia fundamental excitando la antena como ya se ha explicado, haciendo un bucle en el hilo de antena y acoplando *muy flojo* el ondámetro.

Problemas sobre el ondámetro

PROBLEMA 86. — *Al medir una capacidad, ha sido necesario aumentar desde la graduación 20 a la 45 la capacidad del ondámetro para obtener nuevamente la misma frecuencia, una vez suprimida la capacidad a medir. Sabiendo que el condensador tiene una capacidad de una milésima de microfaradio, se pregunta: a) cuál es la capacidad por cada división del disco y b) cuál es la capacidad medida.*

Se supone la línea que calibra el condensador como una recta y el disco graduado en 100 divisiones.

Resp. — *a)*: 0,00001. *b)*: 0,00025.

El condensador medido es, pues, de los empleados en las rejillas.

PROBLEMA 87. — *Para medir la inductancia de una bobina se ha utilizado en el circuito del ondámetro, un valor de L = 50 microhenrios. Habiéndose variado la capacidad del ondámetro de 0,0005 a 0,0002 microfaradios, se pregunta cuál es la inductancia de la bobina que se ha medido.*

Empléese [125]. *Resp:* 75 microhenrios.

PROBLEMA 88. — *En la medición de la inductancia mutua entre el primario y el secundario de un transformador se ha encontrado para L un valor de 120 microhenrios, y para L' 20 microhenrios. Determinar la inducción mutua.*

Empléese [126]. *Resp:* 25 microhenrios.

PROBLEMA 89. — *Una antena unifilar tiene una longitud total de 45 m. ¿Qué longitud de onda propia puede tener, aproximadamente?*

Resp: $45 \times 4 = 180$ m.

PROBLEMA 90. — *En la medición de la resistencia a la radiofrecuencia ofrecida por una antena se ha encontrado al introducir una resistencia R' = 10 ohmios, que la intensidad disminuyó de 0,90 amperios a 0,04. Sabiendo que los aparatos de medida ofrecen una resistencia de 3 ohmios, determinar la resistencia de la antena a aquella frecuencia.*

Utilizar [127]. *Resp:* 5 ohmios.

PROBLEMA 91. — *Una antena tiene una capacidad de 0,0005 microfaradios y una inductancia de 50 microhenrios; se conecta una inductancia de 100 microhenrios. ¿Qué longitud de onda sintonizará ahora?*

Emplear [129]. *Resp:* 509 m., casi.

Con estos problemas el lector puede, desde ahora, utilizar las fórmulas en límites más amplios de los indicados, como, por ejemplo, este último permite determinar qué inductancias hay que utilizar para que una antena sintonice a una onda determinada, etc.

Terminaremos este capítulo describiendo la válvula termoiónica como voltímetro, instrumento éste muy fácil de construir y de gran utilidad para el radioexperimentador.

Voltímetro de válvula

Se compone esencialmente (Fig. 150) de una válvula de tres electrodos, en cuyo circuito de placa se conecta un miliamperímetro de escuala adecuada a la válvula que se utilice.

Pueden medirse voltajes continuos o alternos y de valores relativamente elevados, o de muy pequeños.

Supongamos que queremos medir un voltaje. Se empieza por encender la válvula y con la batería "B" del aparato y el conmutador en la posición "b", apliquemos a la rejilla una tensión negativa de un valor tal que la corriente de placa se reduzca a cero; en estas condiciones conectemos en serie con la batería "B" del aparato, la batería cuyo voltaje queremos medir: pila, acumu-

lador, etc., notaremos que ahora tenemos una cierta corriente de placa, que reduciremos a cero aumentando nuevamente la tensión negativa de la rejilla. Si μ (mu) es el poder amplificador de la válvula y Vg la tensión ahora aplicada a la rejilla, el voltaje Vp que medimos será:

$$Vp = \mu \times Vg. \qquad [131]$$

PROBLEMA. 92. — *Al medir el voltaje aplicado a la placa de un voltímetro termoiónico ha sido necesario aumentar la tensión negativa de la rejilla 7,5 voltios para reducir la corriente a cero. Siendo el poder amplificador de la válvula = 8, se pregunta cuál es el voltaje de la placa.*

Utilizar [131] *Resp:* 60 voltios.

Para medir voltajes pequeños, éstos se aplican a la rejilla en vez de a la placa, procediéndose de la siguiente forma: El conmutador se pone en la posición "b" y se reduce a cero la corriente de placa; se pone ahora el conmutador en la posición "a" y se aplica el voltaje desconocido (continuo o alterno), observando que ahora debemos aumentar la tensión negativa de la rejilla para volver a cero nuevamente la corriente de placa: el voltaje desconocido aplicado a la rejilla será igual al que ahora hemos añadido para volver nuevamente a cero la corriente de placa. Si el voltaje aplicado es alterno, corresponderá a un pico, y su valor eficaz será:

$$\text{Volt. eficaz} = \text{Volt. rejilla} \times 0{,}707.$$

En los voltímetros termoiónicos se acostumbra a tener el amperímetro graduado directamente, dando su lectura el valor del voltaje aplicado en la rejilla, especialmente cuando se trata de medir fracciones pequeñas de un voltio. En estos voltímetros, es necesario ajustar el voltaje, tanto de rejilla como de placa, antes de efectuar las mediciones.

CAPITULO V

Breve resumen de Matemáticas

Este capítulo tiene exclusivamente por objeto dar una idea rudimentaria de los términos matemáticos que se emplean corrientemente en radio.

Las matemáticas se dividen en elementales y superiores. Las elementales las componen la Aritmética, la Geometría, el Algebra y la Trigonometría.

La *Aritmética* estudia los números y las operaciones y combinaciones que con ellos pueden efectuarse.

La *Geometría* estudia la extensión, es decir, longitudes, superficies y volúmenes.

El *Algebra* representa las cantidades por letras convencionales y permite así una generalización de los cálculos.

La *Trigonometría* establece las relaciones que existen entre los elementos de los triángulos, planos y esféricos.

Las matemáticas se basan en una serie de axiomas que tenemos el convencimiento de que son ciertos, como, por ejemplo: una parte es menor que el todo; el todo es igual a la reunión de todas sus partes, etc., etc.

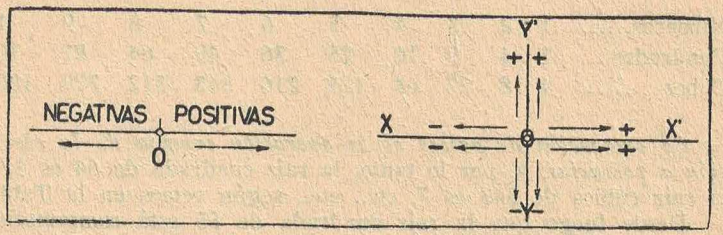


Fig. 151.—Interpretación gráfica del significado de las cantidades positivas y negativas.

Fig. 152.—Sistema de coordenadas generalmente utilizado para las representaciones gráficas.

El estudio de los números se refiere a considerarlos como *enteros, fraccionarios* y *mixtos*. Los números enteros crecen a partir del cero hacia el infinito positivo y decrecen hacia el infinito negativo, acostumbrándose a indicar estas cantidades en dos sentidos opuestos a partir de un punto (Fig. 151).

Los números fraccionarios pueden ser *decimales*, es decir, que tienen por denominador la unidad seguida de cero, o bien un denominador cualquiera, en cuyo caso se les llama *quebrado* o *fracción ordinaria*.

Las operaciones fundamentales que pueden hacerse con los números, o las cantidades, son de dos clases: de *agregación* y de *disgregación*. En la primera categoría se clasifica la *suma*, la *multiplicación* y la *elevación a potencias*, constituyendo la segunda la *resta*, la *división* y la *extracción de raíces*, teniendo esta última operación otra: la *logaritmación*.

De estas operaciones, la suma, resta, multiplicación y división, acostumbran a ser conocidas por casi todo el mundo. La elevación

a potencias, extracción de raíces y logaritmos, no son tan conocidas, por lo cual daré una breve explicación de ellas.

La elevación a potencias se efectúa multiplicando varias veces un número por el producto obtenido. Si se multiplica por sí mismo, se llama segunda potencia o *cuadrado*: 5×5 igual 25; el 25 es la segunda potencia de 5. Se acostumbra a indicar el grado de la potencia con un pequeño número colocado en la parte superior a la derecha, así $5^2 = 25$. Si en vez de dos veces, tomamos a 5 tres veces como factor, habremos elevado este número a la tercera potencia o *cubo:* $5 \times 5 \times 5 = 5^3 = 125$.

De los diez números primeros formaremos, pues, la siguiente Tabla:

Números.....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cuadrados...	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100
Cubos	1	8	27	64	125	216	343	512	729	1000

La extracción de raíces es la operación inversa de la elevación a potencias, y, por lo tanto, la raíz cuadrada de 64 es 8, y la raíz cúbica de 343 es 7, etc., etc., según vemos en la Tabla.

Desde luego que la raíz cuadrada de 55 está comprendida entre 7 y 8 enteros, así como la raíz cúbica de 900 está entre 9 y 10 enteros, es decir, 7 más una fracción, en el primer caso, y 9 más una fracción en el segundo. Sin embargo, la demostración de cómo se extrae la raíz exacta, nos obligaría a ocupar un espacio de que no disponemos.

La logaritmación puede explicarse basándose en las potencias. Si, por ejemplo, tenemos la expresión $10^2 = 100$, estableceremos que en un sistema de logaritmos que tenga por base al número 10, el logaritmo de 100 es 2. Fácilmente veríamos también que $10^3 = 1.000$ y, por lo tanto, el logaritmo de 1.000 será 3, el de 10 será 1 y el logaritmo de la unidad será 0.

En esta operación también vemos que los números intermedios tendrán un logaritmo con una parte entera, llamada *característica*, y una parte decimal, llamada *mantisa*. Afortunadamente hay Tablas de logaritmos que indican, con una exactitud muy grande, los logaritmos de todos los números.

Como resumen de los logaritmos, diré que permite hacer cálculos que de otra manera sería prácticamente imposible efectuar, como, por ejemplo, elevar a una potencia o extraer una raíz de índice decimal, etc. La gran ventaja, sin embargo, consiste en que las multiplicaciones se efectúan con sumas, las elevaciones a potencias con una sencilla multiplicación, las divisiones con una resta y las extracciones de raíces con una división sencilla.

En el ejemplo anterior, para hacerlo comprensible, si queremos elevar 10 al cubo, hallaremos primero el logaritmo de 10, que sabemos es 1; multiplicado por el exponente, 3, tendremos que 3 es el logaritmo del número elevado a la potencia, que vemos es 1.000. Si en vez de ser la unidad seguida de ceros, como éste, fuese un número de muchas cifras, se comprende la ventaja que representa el multiplicar su logaritmo por 3 en vez de efectuar pesadas multiplicaciones. Usando este mismo ejemplo, para extraer la raíz cúbica de 1.000, veríamos cuál es su logaritmo: es 3; dividiéndolo por el índice de la raíz, que es también 3, tendremos como cociente 1, logaritmo de la raíz, y sabiendo que 1 es el logaritmo de 10, ésta es la raíz cúbica de 1.000.

El *álgebra* generaliza los cálculos. Ya nos hemos familiarizado en la exposición de este libro con ciertas fórmulas, como $E = I \times R$, que nos indica la caída de potencial entre los extremos de un conductor de resistencia R atravesado por una corriente I. Es fácil de ver que sabiendo cada letra el significado que tiene, nos permite usarla *en todos los casos* en vez de tenerla indicada, como, por ejemplo: 10 (Voltios) = 5 (amperios) $\times$ 2 (ohmios), puesto que si sólo indicamos las cantidades nos confundiríamos, y si indicamos las palabras, el procedimiento es excesivamente lento; sin embargo, hemos preferido indicar las fórmulas primero con su completo significado y luego reemplazarlas por *letras convencionales,* que acostumbran a ser las iniciales de lo que significan: R resistencia, I intensidad, etc.

En el álgebra se efectúan las mismas operaciones que con la aritmética, utilizándose los mismos signos; así: $a + b = c$, significa que la suma de dos cantidades, a y b, son iguales a otra cantidad c. Estas letras, en sí, no significan cantidad alguna, pero si atribuímos a la letra a los amperios que consumen los filamentos de una válvula y a la letra b el consumo de las placas, tendremos que c nos representará la suma de estas dos cantidades.

La multiplicación acostumbra a indicarse colocando una letra al lado de la otra; así $a\,b = c$, significa que el producto de a por b es igual a c; sin embargo, teniendo en cuenta que este libro lo utilizarán muchas personas que no están familiarizadas con el álgebra, en las fórmulas he puesto siempre el signo de multiplicar cuando ha sido necesario indicar esta operación. Lo he hecho para facilitar la comprensión de las fórmulas a los no iniciados en matemáticas.

Una vez bien comprendido que las letras no significan ninguna cantidad, sino las que queramos atribuirles y, por lo tanto, generalizan así el empleo de las fórmulas, pasaré a explicar algunos puntos que interesa saber.

Las cantidades conocidas se acostumbra a indicarlas por las

primeras letras del alfabeto, generalmente con minúsculas, utilizándose las últimas para las cantidades desconocidas: x, y, z, o bien, si es necesario, cuando hay muchas *incógnitas*, la u, v, x, y, z.

Cuando se tienen las cantidades conocidas hay que *plantear el problema*, lo cual consiste en saber *qué es igual a qué*. En el ejemplo que hemos dado, queremos saber a qué era igual la intensidad gastada por los filamentos y placas de varias válvulas. Desde luego, será igual a la *suma* de estas dos cantidades, y por lo tanto, si llamamos a los amperios consumidos por el filamento a y a los de la placa b, tendremos:

$$a + b = x,$$

si a vale 2,5 amperios y b 0,5 amperios, hallaremos:

$$2{,}5 + 0{,}5 = 3 \text{ amperios};$$

luego, $x = 3$ amperios.

Por lo tanto, la *ecuación* se plantea con una *igualdad*, es decir, dos cantidades que son iguales separadas por el signo igual. A las cantidades situadas a la izquierda del signo igual se las denomina *primer miembro*, y *segundo* al de la derecha.

Generalmente, en el primer miembro hay cantidades conocidas e incógnitas, así como en el segundo miembro, y es del mayor interés reunir todas las incógnitas en un miembro (generalmente en el segundo), y todas las cantidades conocidas en el primero. Entonces, o bien el valor de la incógnita viene dado directamente, como en el caso de nuestro ejemplo, o bien es un producto de ella o una fracción, es decir, todo queda reducido a una sencilla operación.

Cada letra o número separado por el signo *más* o *menos* se le llama *término;* así $a + b$ son dos términos, mientras que $a \times b$ es uno solo. Los términos pueden pasar, o *transponerse*, de un miembro a otro *cambiándolos de signo*, es decir, los que son positivos pasan como negativos, e inversamente; los factores como divisores y los divisores como factores. Para comprender esto, pongamos la igualdad:

$$25 + 15 + 60 = 40 + 60;$$

en ambos miembros el valor es 100. Restemos a cada miembro 15; tendremos:

$$25 + 60 = 40 + 60 - 15;$$

en ambos miembros tendremos $85 = 85$ y por lo tanto, subsiste una igualdad. Vemos que 15, que estaba con el signo *más* en el primer miembro, ha pasado al segundo con el signo *menos*. Pode-

mos ahora volverlo a pasar al primer miembro cambiándole el signo, es decir, en vez de *menos* será *más*, y volveremos a tener la primera igualdad.

Los factores pasan como divisores e inversamente. Sea la igualdad:

$$50 \times 20 = 1.000;$$

pasando 20 al segundo miembro, como divisor, tendremos:

$$50 = 1.000/20,$$

y efectivamente, efectuando la operación, hallaremos:

$$50 = 50.$$

Si ahora queremos, podemos pasar el divisor 20 al primer miembro, como factor, y volveremos a tener la primera igualdad: $1.000 = 1.000$.

Concretemos este estudio con la ley de OHM.

Sabemos que $V = I \times R$; luego, como que R es factor, podremos pasarlo al otro miembro como divisor, y tendremos:

$$I = V/R;$$

de la misma manera, siendo también I un factor, lo pasaremos como divisor y hallaremos:

$$R = V/I;$$

luego podremos deducir tantas otras fórmulas como términos hayan en la fórmula fundamental, bastando con recordar unas cuantas para deducir rápidamente las otras.

El lector que no está familiarizado con las transposiciones de términos, puede deducir, a título de ejercicio, las fórmulas derivadas de la ley de OHM, de PEUILLET, etc., explicadas en esta obra.

Las cantidades positivas y negativas acostumbran a representarse en unos ejes llamados de *coordenadas*. La línea X X' (figura 152) corta perpendicularmente a la línea Y Y', a ángulos rectos, en un punto O, llamado de *origen*, que representa el 0. A partir de este punto, hacia arriba y a la derecha, se indican las *cantidades positivas*, y hacia abajo y a la izquierda las *negativas*.

Las características de las válvulas electrónicas y el cálculo de la impedancia de los circuitos de corriente alterna, se representan y calculan con su ayuda y, por lo tanto, es útil tener una idea, aunque sea elemental.

La línea X X' se llama el eje de las *equis* (x), y la Y Y' el de las *íes* (y). Según lo expuesto anteriormente, el eje de las

equis será negativo desde el cero a la izquierda y positivo desde este punto hacia la derecha; asimismo, el eje de las *íes* será positivo desde el cero hacia arriba y negativo hacia abajo.

Siendo la reactancia que ofrece una bobina de signo contrario a la de un condensador, considerándose a esta última como negativa, vemos ahora por qué se indicó en esta forma al hacer la *representación vectorial* para determinar la impedancia del circuito. Asimismo, pudiendo ser negativa o positiva la rejilla de una válvula, es necesario poder representar estos valores en la curva. Como que a veces hay una variación muy grande entre los valores del eje de las *equis* y el de las *íes*, es necesario indicar cuidadosamente *las unidades* a que se refieren.

Ya vimos que mediante los vectores puede calcularse el *ángulo* y determinar exactamente el valor de X y de Y, puesto que los resultados obtenidos gráficamente son inexactos, a menos de hacerlos en escalas grandes.

La *geometría* estudia, como dijimos en un principio, la extensión. Las longitudes se miden mediante una medida patrón, el *metro*, con sus submúltiplos, el *centímetro* y el *milímetro*, o bien sus múltiplos, de los cuales el más usual es el *kilómetro*.

Las superficies se miden con las mismas unidades que las longitudes, teniendo cuidado de indicar con un 2, pequeño, en la parte superior y a la derecha de la cantidad; así 5 mm.^{2} significa 5 milímetros cuadrados de superficie, que si es de un conductor se acostumbra a llamarla su *sección*.

La superficie del cuadrado o de un rectángulo se obtiene multiplicando la base por la altura; la de un triángulo, la base por la mitad de la altura, etc., etc., y en fin la del círculo, multiplicando el cuadrado del radio por el número 3,1416, *pi* = π.

Las fórmulas para determinar la superficie, pueden deducirse de la empleada para determinar la superficie de un triángulo. Si consideramos un *polígono*, tendremos que la suma de sus bases constituirá el perímetro, y si a éste le atribuímos un infinito número de lados, infinitamente pequeños, se nos convierte en una *circunferencia*, cuya superficie interior se denomina *círculo*.

Los volúmenes se obtienen multiplicando la superficie de la base por su altura. Así, un cilindro o alambre cilíndrico, tendrá un volumen igual a su sección multiplicada por su longitud. Si en vez de ser cilíndrico es cuadrado, obtendremos su volumen multiplicando el lado por sí mismo y luego por la longitud, etc.

Si sabemos el *volumen* de un cuerpo y lo multiplicamos por su *densidad*, sabremos su *peso* y, por tanto, la densidad será igual al resultado, o cociente, de dividir el peso por el volumen.

La superficies pueden ser planas o irregulares. Las prime-

ras son las que se adaptan a un plano, y las segundas las que limitan los cuerpos, cualquiera que sea su forma.

Si tenemos una recta que pueda girar alrededor del punto 0, a partir del eje de las *equis*, en sentido contrario al movimiento de las agujas de un reloj, en cuanto la separemos del eje de las *equis* nos formará una abertura en el punto 0, llamada *ángulo*. Este irá creciendo hasta coincidir con el eje de las *íes*, en cuyo punto se dice que vale un *ángulo recto*, o 90 grados, puesto que es la cuarta parte de la circunferencia y ésta se divide en 360 *grados*. Si proseguimos su movimiento, volverá a alcanzar el eje de las *equis*, pero en prolongación del punto de partida, y al alcanzar esta línea habrá trazado un ángulo de 180 grados; pro-

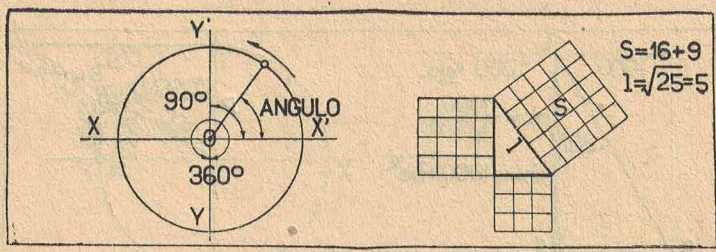


Fig. 153.—División de la circunferencia en cuadrantes y medición de los ángulos.
Fig. 154.—Demostración del teorema de Pitágoras.

siguiendo el movimiento se irá acercando al punto de partida, cosa que se realizará después de haber dado una vuelta completa, o sean 360 grados (Fig. 153).

Deducimos de todo esto, que el ángulo mayor que puede existir es de 180 grados, aunque, en este caso, en realidad es una recta. También vemos que de ángulos entre 0 y 180 grados pueden haber muchos, pero uno solo de recto. Asimismo llamamos *agudo* al ángulo cuando vale menos de un recto, y *obtuso* al que pasa de este valor. Dos ángulos que juntos valen 90 grados, se llaman *complementarios*, y si valen 180 grados, *suplementarios*.

Los triángulos se clasifican por sus lados y por sus ángulos. Como que los ángulos de un triángulo valen siembre 180 grados, sólo puede haber un ángulo recto y dos agudos; un obtuso y dos agudos, o bien los tres agudos.

Las tres líneas que forman un triángulo se llaman *lados*, designándose con el nombre de *hipotenusa* al lado mayor de un triángulo rectángulo.

Uno de los principales teoremas geométricos es debido a PITÁGORAS y puede enunciarse así: *El cuadrado construído sobre la hipotenusa de un triángulo tiene una superficie equivalente a la suma de las superficies de los cuadrados construídos sobre los dos lados.*

Supongamos el triángulo rectángulo (Fig. 154), cuyos lados tienen 3 y 4 centímetros, respectivamente. Según el teorema, tendremos que el cuadro constituído sobre la hipotenusa tendrá una superficie de la suma de estos cuadrados, o sea $9 + 16 = 25$ centímetros cuadrados, y como que 25 es un cuadrado perfecto, encontraremos que su lado será igual a 5 centímetros.

Una aplicación inmediata consiste en calcular los esfuerzos que actuarán en el mástil de una antena, que su parte horizon-

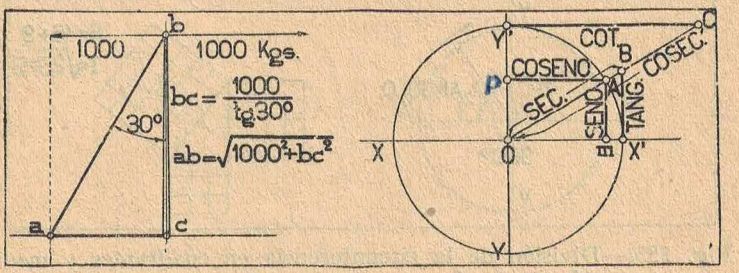


Fig. 155.—Representación gráfica de los esfuerzos que actúan en un mástil que sostene una antena horizontal.

Fig. 156.—Representación de las líneas trigonométricas más usuales.

tal ejerce una tensión de 1.000 kilos para mantenerse tirante y el cable *ab* es el que se opone a que el mástil se doble. Admitiendo el ángulo *abc* de 30 grados, tendremos los esfuerzos (Figura 155), indicados.

Véase que el cable *ab* trabaja a la *tracción* y el tubo *bc* a la *compresión*. Con estas cantidades hay que averiguar ahora qué clase de cable y tubo debe emplearse.

El teorema de PITÁGORAS es el que permite determinar el valor Z, o sea la impedancia de un circuito de corriente alterna, cuando se conoce la resistencia y la reactancia, inductiva o capacitativa, y, finalmente, encontrar el ángulo que forma Z, sabiendo entonces hasta qué punto el circuito se comporta como una reactancia inductiva o capacitativa.

La determinación de los ángulos y los valores exactos de las líneas se obtienen con la ayuda de las *funciones trigonométricas.*

Ya expliqué que la *trigonometría* es una rama de las matemáticas que establece relaciones entre los ángulos de los triángulos, y como que éstos pueden ser *planos* o *esféricos*, la trigonometría se divide en plana y esférica. Sólo nos interesa la trigonometría plana y de ella daré una idea rudimentaria para completar este esbozo de conocimientos elementales de matemáticas.

Supongamos dos ejes X X' e Y Y'. Tracemos una línea O A que formará un ángulo X'O A. Tracemos ahora una circunferencia de radio O X' que cortará a la recta en el punto A (Figura 156). Tendremos:

$$Am = \textit{seno} \text{ del ángulo X'O A.}$$

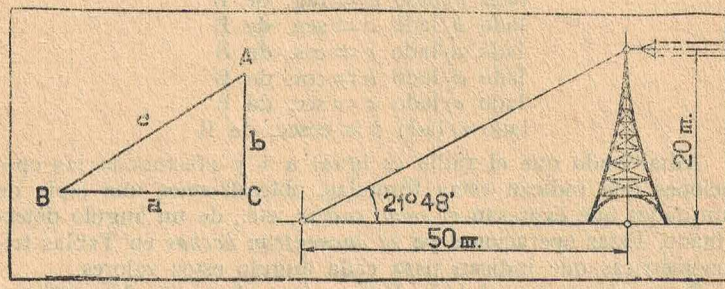


Fig. 157.—Triángulo para definir las líneas trigonométricas.
Fig. 158.—Medición de la altura de una antena aplicando el cálculo trigonométrico.

Desde el punto A tracemos una perpendicular al eje Y Y', que lo encontrará en el punto p. Esta línea $Ap = mO$ es el *coseno* del ángulo X'O A; luego:

$$mO = Ap = \textit{coseno} \text{ del ángulo X'O A.}$$

Tracemos desde el punto X' una perpendicular hasta encontrar la prolongación de O A. Esta línea, X'B se llama la *tangente* del ángulo X O A; luego:

$$X'B = \textit{tangente} \text{ del ángulo X'O A.}$$

Si desde el punto Y' trazamos una perpendicular a Y Y' hasta encontrar la prolongación de O A, que será en el punto C, tendremos la línea Y'C, que se denomina la *cotangente* del ángulo X'O A. Luego:

$$Y'C = \textit{cotagente} \text{ del ángulo X'O A.}$$

La línea O B se denomina *secante,* y la línea O C *cosecante* del ángulo X'O A.

Se acostumbra a abreviar la palabra *seno* por *sen.,* la de *coseno* por *cos.; tag.* por *tangente; cot.* por *cotangente; cosec.* por *cosecante,* y *sec.* por *secante.*

Ya habrá observado el lector que el prefijo *co* se emplea para determinar la línea o función trigonométrica del ángulo complementario.

Ahora que conocemos los nombres, veamos las relaciones.

Sea el triángulo rectángulo *abc* y determinaremos por A, B, y C los respectivos ángulos opuestos a estos lados. Tendremos (Fig. 157):

lado *b*/lado *a* = tag. de B
lado *b*/lado *c* = sen de B
lado *a*/lado *c* = cos. de B
lado *a*/lado *b* = cot. de B
lado *c*/lado *a* = sec. de B
lado *c*/lado *b* = cosec. de B

Admitiendo que el radio es igual a 1 y efectuando las operaciones que indican estas fórmulas, obtendríamos una serie de cantidades que expresan el *seno, coseno,* etc., de un ángulo determinado. Estas operaciones *ya se encuentran hechas* en Tablas trigonométricas que indican para cada ángulo estos valores.

Supongamos que el lado *b* tiene una altura de 20 metros y que *a* tiene una longitud de 50 m.; encontraremos que la tangente de este ángulo será:

$$\text{Tag. B} = \text{lado } b/\text{lado } a = 20/50 = 0{,}4.$$

Consultando las tablas resulta un ángulo de 21° 48', que es el ángulo B. Luego, si hubiésemos conocido este ángulo y la distancia *a,* es decir, 200 m., podríamos haber calculado la altura AC (Fig. 158).

Cuando se quieren relacionar longitudes con ángulos, hay que ver, ante todo, cuál de las seis fórmulas indicadas puede adoptarse, se efectúa la división y luego se consulta las Tablas.

Ahora comprenderá el lector por qué se llaman *senoidales* a ciertas corrientes alternas: se las denomina así porque cada ángulo que forma el plano de la espira con las líneas de fuerza del campo magnético, el valor de la intensidad corresponde al seno de aquel ángulo y, por lo tanto, para trazar una curva senoidal basta con marcar desde 0 a 360 grados los valores de los senos de cada ángulo intermedio, la unión de cuyos puntos es semejante a las curvas indicadas al representar la corriente alterna producida por un alternador.

Sabiendo los ángulos que forman los vientos que sostienen un mástil, etc., etc., y en fin, cualquier sistema de fuerzas, es posible, mediante las sencillas relaciones trigonométricas que hemos indicado determinar con gran exactitud los esfuerzos resultantes, y, en consecuencia, saber qué clase de cables, tubos, etcétera, deben de emplearse.

Las Tablas (1), que encontrará a continuación le permitirán resolver todos los problemas con una exactitud del minuto de grado, es decir, bien suficiente para todos los casos prácticos.

El uso de estas Tablas no puede ser más sencillo. En efecto, refiriéndome al caso bien concreto del ejemplo de la figura 158, hemos encontrado que la tg. B = 0,4; pues bien en la *Tabla de las tangentes,* buscando este valor lo encontramos en la intersección de la columna de 21° (grados) y la de 48′ (minutos), que es el ángulo buscado.

Supongamos ahora el caso inverso, es decir, conociendo el valor de la función, determinar el ángulo. Sea, a título de ejemplo, encontrar el ángulo que corresponden al seno 0.8090. Buscando en la *Tabla de los senos,* encontramos que corresponde al ángulo de 36°.

En fin, supongamos ahora que nos proponemos hallar un valor no indicado directamente en las Tablas; entonces, gracias a las *Diferencias tabulares,* podremos hallarlo facilmente.

Sea determinar el ángulo cuyo seno es igual a 0,3474. Consultamos la *Tabla de Senos* y vemos que el ángulo de 20° 18′ corresponde al seno 0.3469 cuya diferencia con el de nuestro cálculo es: 0.3474 — 0.3469 = 5 unidades del último orden. Consultando las *Diferencias Tabulares* correspondientes a aquel mismo grado vemos que 5 corresponde a un ángulo de 2′, que sumados al ángulo antes hallado, nos da, finalmente, 20° 20′, que es el ángulo buscado, correspondiente al seno 0.3474.

---

(1) De la excelente obra «Tratado Práctico de Matemáticas», por el Ing. W. N. Rose, que recomiendo a todos los que quieran profundizar el estudio de la Electricidad.—Publicada por la Editorial Labor, S. A., a quienes manifiesto mi agradecimiento por haberme autorizado su publicación.

FIN DEL TOMO PRIMERO

TABLA DE SENOS NATURALES

Grados	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Diferencias tabulares				
	0°·0	0°·1	0°·2	0°·3	0°·4	0°·5	0°·6	0°·7	0°·8	0°·9	1′	2′	3′	4′	5′
0	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	3	6	9	12	15
3	·0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	3	6	9	12	15
4	·0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	3	6	9	12	14
5	·0872	0889	0906	0924	0941	0958	0976	0993	1011	1028	3	6	9	12	14
6	·1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	3	6	9	12	14
7	·1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	3	6	9	12	14
8	·1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	3	6	9	12	14
9	·1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	3	6	9	12	14
10	·1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	3	6	9	11	14
11	·1908	1925	1942	1959	1977	1994	2011	2028	2045	2062	3	6	9	11	14
12	·2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2233	3	6	9	11	14
13	·2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	3	6	8	11	14
14	·2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	3	6	8	11	14
15	·2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	3	6	8	11	14
16	·2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	3	6	8	11	14
17	·2924	2940	2957	2974	2990	3007	3024	3040	3057	3074	3	6	8	11	14
18	·3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3	6	8	11	14
19	·3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3	5	8	11	14
20	·3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3	5	8	11	14
21	·3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3	5	8	11	14
22	·3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3	5	8	11	14
23	·3907	3923	3939	3955	3971	3987	4003	4019	4035	4051	3	5	8	11	14
24	·4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	3	5	8	11	13
25	·4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	3	5	8	11	13
26	·4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	3	5	8	10	13
27	·4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4648	4664	4679	3	5	8	10	13
28	·4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	3	5	8	10	13
29	·4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	3	5	8	10	13
30	·5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	3	5	8	10	13
31	·5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	2	5	7	10	12
32	·5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	2	5	7	10	12
33	·5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	2	5	7	10	12
34	·5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	2	5	7	10	12
35	·5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	2	5	7	9	12
36	·5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004	2	5	7	9	12
37	·6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	2	5	7	9	12
38	·6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	2	5	7	9	11
39	·6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	2	4	7	9	11
40	·6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547	2	4	7	9	11
41	·6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678	2	4	7	9	11
42	·6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	2	4	6	9	11
43	·6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	2	4	6	8	11
44	·6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	2	4	6	8	10
45	·7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10

TABLA DE SENOS NATURALES

Grados	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Diferencias tabulares				
	0°·0	0°·1	0°·2	0°·3	0°·4	0°·5	0°·6	0°·7	0°·8	0°·9	1′	2′	3′	4′	5′
45	·7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10
46	·7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	2	4	6	8	10
47	·7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	2	4	6	8	10
48	·7431	7443	7455	7466	7478	7490	7501	7513	7524	7536	2	4	6	8	10
49	·7547	7559	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	2	4	6	8	9
50	·7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	2	4	6	7	9
51	·7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	2	4	5	7	9
52	·7880	7891	7902	7912	7923	7934	7944	7955	7965	7976	2	4	5	7	9
53	·7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	2	3	5	7	9
54	·8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	2	3	5	7	8
55	·8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	2	3	5	7	8
56	·8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8368	8377	2	3	5	6	8
57	·8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8453	8462	8471	2	3	5	6	8
58	·8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	2	3	5	6	8
59	·8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	1	3	4	6	7
60	·8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	1	3	4	6	7
61	·8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	1	3	4	6	7
62	·8829	8838	8846	8854	8862	8870	8878	8886	8894	8902	1	3	4	5	7
63	·8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	1	3	4	5	6
64	·8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	1	3	4	5	6
65	·9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	1	2	4	5	6
66	·9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	1	2	3	5	6
67	·9205	9212	9219	9225	9232	9239	9245	9252	9259	9265	1	2	3	4	6
68	·9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	1	2	3	4	5
69	·9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	1	2	3	4	5
70	·9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	1	2	3	4	5
71	·9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	1	2	3	4	5
72	·9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	1	2	3	3	4
73	·9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	1	2	2	3	4
74	·9613	9617	9622	9627	9632	9636	9641	9646	9650	9655	1	2	2	3	4
75	·9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	1	1	2	3	4
76	·9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	1	1	2	3	3
77	·9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	1	1	2	3	3
78	·9781	9785	9789	9792	9796	9799	9803	9806	9810	9813	1	1	2	2	3
79	·9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	1	1	2	2	3
80	·9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	0	1	1	2	2
81	·9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	0	1	1	2	2
82	·9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	0	1	1	2	2
83	·9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	0	1	1	1	2
84	·9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	0	1	1	1	2
85	·9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	0	0	1	1	1
86	·9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	0	0	1	1	1
87	·9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	0	0	0	1	1
88	·9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	0	0	0	0	0
89	·9998	9999	9999	9999	9999	1·000	1·000	1·000	1·000	1·000	0	0	0	0	0
90	1·000														

TABLA DE COSENOS NATURALES

Grados	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Diferencias tabulares				
	0°·0	0°·1	0°·2	0°·3	0°·4	0°·5	0°·6	0°·7	0°·8	0°·9	1′	2′	3′	4′	5′
0	1·000	1·000	1·000	1·000	1·000	1·000	·9999	9999	9999	9999	0	0	0	0	0
1	·9998	9998	9998	9997	9997	9997	9996	9996	9995	9995	0	0	0	0	0
2	·9994	9993	9993	9992	9991	9990	9990	9989	9988	9987	0	0	0	1	1
3	·9986	9985	9984	9983	9982	9981	9980	9979	9978	9977	0	0	1	1	1
4	·9976	9974	9973	9972	9971	9969	9968	9966	9965	9963	0	0	1	1	1
5	·9962	9960	9959	9957	9956	9954	9952	9951	9949	9947	0	1	1	1	2
6	·9945	9943	9942	9940	9938	9936	9934	9932	9930	9928	0	1	1	1	2
7	·9925	9923	9921	9919	9917	9914	9912	9910	9907	9905	0	1	1	2	2
8	·9903	9900	9898	9895	9893	9890	9888	9885	9882	9880	0	1	1	2	2
9	·9877	9874	9871	9869	9866	9863	9860	9857	9854	9851	0	1	1	2	2
10	·9848	9845	9842	9839	9836	9833	9829	9826	9823	9820	1	1	2	2	3
11	·9816	9813	9810	9806	9803	9799	9796	9792	9789	9785	1	1	2	2	3
12	·9781	9778	9774	9770	9767	9763	9759	9755	9751	9748	1	1	2	3	3
13	·9744	9740	9736	9732	9728	9724	9720	9715	9711	9707	1	1	2	3	3
14	·9703	9699	9694	9690	9686	9681	9677	9673	9668	9664	1	1	2	3	4
15	·9659	9655	9650	9646	9641	9636	9632	9627	9622	9617	1	2	2	3	4
16	·9613	9608	9603	9598	9593	9588	9583	9578	9573	9568	1	2	2	3	4
17	·9563	9558	9553	9548	9542	9537	9532	9527	9521	9516	1	2	3	3	4
18	·9511	9505	9500	9494	9489	9483	9478	9472	9466	9461	1	2	3	4	5
19	·9455	9449	9444	9438	9432	9426	9421	9415	9409	9403	1	2	3	4	5
20	·9397	9391	9385	9379	9373	9367	9361	9354	9348	9342	1	2	3	4	5
21	·9336	9330	9323	9317	9311	9304	9298	9291	9285	9278	1	2	3	4	5
22	·9272	9265	9259	9252	9245	9239	9232	9225	9219	9212	1	2	3	4	6
23	·9205	9198	9191	9184	9178	9171	9164	9157	9150	9143	1	2	3	5	6
24	·9135	9128	9121	9114	9107	9100	9092	9085	9078	9070	1	2	4	5	6
25	·9063	9056	9048	9041	9033	9026	9018	9011	9003	8996	1	3	4	5	6
26	·8988	8980	8973	8965	8957	8949	8942	8934	8926	8918	1	3	4	5	6
27	·8910	8902	8894	8886	8878	8870	8862	8854	9846	8838	1	3	4	5	7
28	·8829	8821	8813	8805	8796	8788	8780	8771	8763	8755	1	3	4	6	7
29	·8746	8738	8729	8721	8712	8704	8695	8686	8678	8669	1	3	4	6	7
30	·8660	8652	8643	8634	8625	8616	8607	8599	8590	8581	1	3	4	6	7
31	·8572	8563	8554	8545	8536	8526	8517	8508	8499	8490	2	3	5	6	8
32	·8480	8471	8462	8453	8443	8434	8425	8415	8406	8396	2	3	5	6	8
33	·8387	8377	8368	8358	8348	8339	8329	8320	8310	8300	2	3	5	6	8
34	·8290	8281	8271	8261	8251	8241	8231	8221	8211	8202	2	3	5	7	8
35	·8192	8181	8171	8161	8151	8141	8131	8121	8111	8100	2	3	5	7	8
36	·8090	8080	8070	8059	8049	8039	8028	8018	8007	7997	2	3	5	7	9
37	7986	7976	7965	7955	7944	7934	7923	7912	7902	7891	2	4	5	7	9
38	·7880	7869	7859	7848	7837	7826	7815	7804	7793	7782	2	4	5	7	9
39	·7771	7760	7749	7738	7727	7716	7705	7694	7683	7672	2	4	6	7	9
40	·7660	7649	7638	7627	7615	7604	7593	7581	7570	7559	2	4	6	8	9
41	·7547	7536	7524	7513	7501	7490	7478	7466	7455	7443	2	4	6	8	10
42	·7431	7420	7408	7396	7385	7373	7361	7349	7337	7325	2	4	6	8	10
43	·7314	7302	7290	7278	7266	7254	7242	7230	7218	7206	2	4	6	8	10
44	·7193	7181	7169	7157	7145	7133	7120	7108	7096	7083	2	4	6	8	10
45	·7071	7059	7046	7034	7022	7009	6997	6984	6972	6959	2	4	6	8	10

TABLA DE COSENOS NATURALES

Grados	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Diferencias tabulares				
	0°·0	0°·1	0°·2	0°·3	0°·4	0°·5	0°·6	0°·7	0°·8	0°·9	1′	2′	3′	4′	5′
45	·7071	7059	7046	7034	7022	7009	6997	6984	6972	6959	2	4	6	8	10
46	·6947	6934	6921	6909	6896	6884	6871	6858	6845	6833	2	4	6	8	11
47	·6820	6807	6794	6782	6769	6756	6743	6730	6717	6704	2	4	6	9	11
48	·6691	6678	6665	6652	6639	6626	6613	6600	6587	6574	2	4	7	9	11
49	·6561	6547	6534	6521	6508	6494	6481	6468	6455	6441	2	4	7	9	11
50	·6428	6414	6401	6388	6374	6361	6347	6334	6320	6307	2	4	7	9	11
51	·6293	6280	6266	6252	6239	6225	6211	6198	6184	6170	2	5	7	9	11
52	·6157	6143	6129	6115	6101	6088	6074	6060	6046	6032	2	5	7	9	12
53	·6018	6004	5990	5976	5962	5948	5934	5920	5906	5892	2	5	7	9	12
54	·5878	5864	5850	5835	5821	5807	5793	5779	5764	5750	2	5	7	9	12
55	5736	5721	5707	5693	5678	5664	5650	5635	5621	5606	2	5	7	10	12
56	·5592	5577	5563	5548	5534	5519	5505	5490	5476	5461	2	5	7	10	12
57	5446	5432	5417	5402	5388	5373	5358	5344	5329	5314	2	5	7	10	12
58	·5299	5284	5270	5255	5240	5225	5210	5195	5180	5165	2	5	7	10	12
59	·5150	5135	5120	5105	5090	5075	5060	5045	5030	5015	3	5	8	10	13
60	·5000	4985	4970	4955	4939	4924	4909	4894	4879	4863	3	5	8	10	13
61	·4848	4833	4818	4802	4787	4772	4756	4741	4726	4710	3	5	8	10	13
62	4695	4679	4664	4648	4633	4617	4602	4586	4571	4555	3	5	8	10	13
63	·4540	4524	4509	4493	4478	4462	4446	4431	4415	4399	3	5	8	10	13
64	·4384	4368	4352	4337	4321	4305	4289	4274	4258	4242	3	5	8	11	13
65	·4226	4210	4195	4179	4163	4147	4131	4115	4099	4083	3	5	8	11	13
66	·4067	4051	4035	4019	4003	3987	3971	3955	3939	3923	3	5	8	11	14
67	·3907	3891	3875	3859	3843	3827	3811	3795	3778	3762	3	5	8	11	14
68	·3746	3730	3714	3697	3681	3665	3649	3633	3616	3600	3	5	8	11	14
69	·3584	3567	3551	3535	3518	3502	3486	3469	3453	3437	3	5	8	11	14
70	·3420	3404	3387	3371	3355	3338	3322	3305	3289	3272	3	5	8	11	14
71	·3256	3239	3223	3206	3190	3173	3156	3140	3123	3107	3	6	8	11	14
72	·3090	3074	3057	3040	3024	3007	2990	2974	2957	2940	3	6	8	11	14
73	·2924	2907	2890	2874	2857	2840	2823	2807	2790	2773	3	6	8	11	14
74	·2756	2740	2723	2706	2689	2672	2656	2639	2622	2605	3	6	8	11	14
75	·2588	2571	2554	2538	2521	2504	2487	2470	2453	2436	3	6	8	11	14
76	2419	2402	2385	2368	2351	2334	2317	2300	2284	2267	3	6	8	11	14
77	·2250	2233	2215	2198	2181	2164	2147	2130	2113	2096	3	6	9	11	14
78	·2079	2062	2045	2028	2011	1994	1977	1959	1942	1925	3	6	9	11	14
79	·1908	1891	1874	1857	1840	1822	1805	1788	1771	1754	3	6	9	11	14
80	·1736	1719	1702	1685	1668	1650	1633	1616	1599	1582	3	6	9	12	14
81	·1564	1547	1530	1513	1495	1478	1461	1444	1426	1409	3	6	9	12	14
82	·1392	1374	1357	1340	1323	1305	1288	1271	1253	1236	3	6	9	12	14
83	·1219	1201	1184	1167	1149	1132	1115	1097	1080	1063	3	6	9	12	14
84	·1045	1028	1011	0993	0976	0958	0941	0924	0906	0889	3	6	9	12	14
85	·0872	0854	0837	0819	0802	0785	0767	0750	0732	0715	3	6	9	12	14
86	·0698	0680	0663	0645	0628	0610	0593	0576	0558	0541	3	6	9	12	15
87	·0523	0506	0488	0471	0454	0436	0419	0401	0384	0366	3	6	9	12	15
88	·0349	0332	0314	0297	0279	0262	0244	0227	0209	0192	3	6	9	12	15
89	·0175	0157	0140	0122	0105	0087	0070	0052	0035	0017	3	6	9	12	15
90	·0000														

TABLA DE TANGENTES NATURALES

Grados	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Diferencias tabulares				
	0°·0	0°·1	0°·2	0°·3	0°·4	0°·5	0°·6	0°·7	0°·8	0°·9	1	2′	3′	4′	5′
0	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0472	0489	0507	3	6	9	12	15
3	·0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682	3	6	9	12	15
4	·0699	0717	0734	0752	0769	0787	0805	0822	0840	0857	3	6	9	12	15
5	·0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033	3	6	9	12	15
6	·1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210	3	6	9	12	15
7	·1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388	3	6	9	12	15
8	1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566	3	6	9	12	15
9	·1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745	3	6	9	12	15
10	1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926	3	6	9	12	15
11	·1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107	3	6	9	12	15
12	·2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290	3	6	9	12	15
13	·2309	2327	2345	2364	2382	2401	2419	2438	2456	2475	3	6	9	12	15
14	·2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661	3	6	9	12	16
15	·2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849	3	6	9	13	16
16	·2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038	3	6	9	13	16
17	·3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230	3	6	10	13	16
18	·3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424	3	6	10	13	16
19	·3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620	3	7	10	13	16
20	·3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3799	3819	3	7	10	13	17
21	·3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020	3	7	10	13	17
22	·4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224	3	7	10	14	17
23	·4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431	3	7	10	14	17
24	·4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4621	4642	4	7	11	14	18
25	·4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856	4	7	11	14	18
26	·4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073	4	7	11	15	18
27	·5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295	4	7	11	15	18
28	·5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520	4	8	11	15	19
29	·5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750	4	8	12	15	19
30	·5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5985	4	8	12	16	20
31	·6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6176	6200	6224	4	8	12	16	20
32	·6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469	4	8	12	16	20
33	·6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720	4	8	13	17	21
34	·6745	6771	6796	6822	6847	6873	6899	6924	6950	6976	4	9	13	17	21
35	·7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239	4	9	13	18	22
36	·7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508	5	9	14	18	23
37	·7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785	5	9	14	18	23
38	·7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069	5	9	14	19	24
39	·8098	8127	8156	8185	8214	8243	8273	8302	8332	8361	5	10	15	20	24
40	·8391	8421	8451	8481	8511	8541	8571	8601	8632	8662	5	10	15	20	25
41	·8693	8724	8754	8785	8816	8847	8878	8910	8941	8972	5	10	16	21	26
42	·9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293	5	11	16	21	27
43	·9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623	6	11	17	22	28
44	·9657	9691	9725	9759	9793	9827	9861	9896	9930	9965	6	11	17	23	29
45	1·0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319	6	12	18	24	30

TABLA DE TANGENTES NATURALES

Grados	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Diferencias tabulares				
	0°·0	0°·1	0°·2	0°·3	0°·4	0°·5	0°·6	0°·7	0°·8	0°·9	1′	2′	3′	4′	5′
45	1·0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319	6	12	18	24	30
46	1·0355	0392	0428	0464	0501	0538	0575	0612	0649	0686	6	12	18	25	31
47	1·0724	0761	0799	0837	0875	0913	0951	0990	1028	1067	6	13	19	25	32
48	1·1106	1145	1184	1224	1263	1303	1343	1383	1423	1463	7	13	20	27	33
49	1·1504	1544	1585	1626	1667	1708	1750	1792	1833	1875	7	14	21	28	34
50	1·1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305	7	14	22	29	36
51	1·2349	2393	2437	2482	2527	2572	2617	2662	2708	2753	8	15	23	30	38
52	1·2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222	8	16	24	31	39
53	1·3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713	8	16	25	33	41
54	1·3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229	9	17	26	34	43
55	1·4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770	9	18	27	36	45
56	1·4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340	10	19	29	38	48
57	1·5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	5941	10	20	30	40	50
58	1·6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577	11	21	32	43	53
59	1·6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251	11	23	34	45	56
60	1·7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966	12	24	36	48	60
61	1·8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13	26	38	51	64
62	1·8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14	27	41	55	68
63	1·9626	9711	9797	9883	9970	0057	0145	0233	0323	0413	15	29	44	58	73
64	2·0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16	31	47	63	78
65	2·1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17	34	51	68	85
66	2·2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18	37	55	73	92
67	2·3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20	40	60	79	99
68	2·4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22	43	65	87	108
69	2·6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034	7179	7326	24	47	71	95	119
70	2·7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26	52	78	104	131
71	2·9042	9208	9375	9544	9714	9887	0061	0237	0415	0595	29	58	87	116	145
72	3·0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	32	64	96	129	161
73	3·2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36	72	108	144	180
74	3·4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41	81	122	163	204
75	3·7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46	93	139	186	232
76	4·0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972					
77	4·3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646					
78	4·7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	0045	0504	0970					
79	5·1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140					
80	5·6713	7297	7894	8502	9124	9758	0405	1066	1742	2432					
81	6·3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	0264	No se ponen las diferencias tabulares por su poca aproximación puesto que las diferencias reales varían muy deprisa.				
82	7·1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	0285					
83	8·1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	0579	2052	3572					
84	9·514	9·677	9·845	10·02	10·20	10·39	10·58	10·78	10·99	11·20					
85	11·43	11·66	11·91	12·16	12·43	12·71	13·00	13·30	13·62	13·95					
86	14·30	14·67	15·06	15·46	15·89	16·35	16·83	17·34	17·89	18·46					
87	19·08	19·74	20·45	21·20	22·02	22·90	23·86	24·90	26·03	27·27					
88	28·64	30·14	31·82	33·69	35·80	38·19	40·92	44·07	47·74	52·08					
89	57·29	63·66	71·62	81·85	95·49	114·6	143·2	191·0	286·5	573·0					
90	∞														

INDICE

Págs.

AL LECTOR 5
Letras simbólicas empleadas en Radio 6

PARTE PRIMERA.—ELECTROTECNIA

CAPÍTULO PRIMERO.—La teoría electrónica 7
CAP. II.—Generadores de energía eléctrica 16
CAP. III.—Unidades eléctricas 33
CAP. IV.—Aparatos de medidas eléctricas 41

PARTE SEGUNDA.—RESISTENCIA, INDUCTANCIA Y CAPACIDAD

CAPÍTULO PRIMERO.—Resistencia 47
CAP. II.—Inductancia 63
CAP. III.—Capacidad 78
CAP. IV.—Combinaciones fundamentales 88
CAP. V.—Acoplamiento de circuitos 98

PARTE TERCERA.—LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

CAPÍTULO PRIMERO.—Objeto de la Radiocomunicación 104
CAP. II.—La válvula electrónica 122
CAP. III.—Amortiguamiento 158
CAP. IV.—Mediciones usuales en Radio 163
CAP. V.—Breve resumen de Matemáticas 172
Tabla de senos 184
» de cosenos 186
» de tangentes 188

IMPORTANTE:

El precio de esta obra es de seis pesetas, como las anteriores ediciones. Caso de haberla adquirido por un precio más elevado, tenga la bondad de escribirlo a su autor, acompañando un recibo de la casa que se lo ha vendido.



Estudiando desde su casa mis obras

GUIA PRACTICA DE RADIO
RADIO RECEPCION
MODERNA y MANUAL DEL
RADIOEXPERIMENTADOR

usted puede obtener el

DIPLOMA DE RADIOTÉCNICO

Bastando para ello que complete estos estudios con varios complementos e instrucciones que le enviaría, con lo cual usted será un

TÉCNICO EN RADIO, ELECTRICIDAD Y CINE SONORO

Escríbame y le diré cómo obtener este resultado



Ing. AGUSTIN RIU
APARTADO 1058
ESPAÑA BARCELONA