

48 LECCIONES DE RADIO



Un nuevo sistema de enseñanza
**PARA LOS QUE DESEEN
APRENDER RADIO DESDE
LO MAS ELEMENTAL**

Por el profesor
José Suñanoc



EDITORIAL HOBBY

Publicado en la Argentina por Editorial HOBBY
Prohibida la reproducción total o parcial.
Derechos amparados por la ley 11.723 y
hecho el depósito que exige la misma.

Curso de Radio

CURSO DE RADIO

TOMO I

pág.	TEMAS	N.º lección	TEMAS	N.º lección	pág.
13	Imanes y sus propiedades. — Leyes de atracción y repulsión. — Clasificación magnética de las sustancias	1a.	Corriente alternada. — Magnitudes de la F.E.M. inducida	18a.	90
17	Líneas magnéticas. — Líneas de fuerza. — Campo magnético y línea neutra. — Imanes temporarios y permanentes	2a.	F.E.M. e intensidad de Self inducción o autoinducción. — Inductancia. — Aplicaciones	19a.	97
20	Teoría molecular del magnetismo. — Duración de los imanes permanentes	3a.	<u>Recepción de señales radio-telefónicas. — Receptor y transmisor radiotelegráfico elemental.</u> — Abaco N.º 4 (Relación entre las longitudes de ondas y las frecuencias) . .	20a.	101
23	Campo magnético de un solenoide (bobina). — Analogía de un solenoide y un imán; acción de aquél sobre éste. — Influencia de una barra de hierro dulce colocada en el campo magnético de un solenoide. — Demostración matemática de las fuerzas magnéticas	4a.	Generalidades. — Inductancias; cálculos. — Tabla V. — Tabla VI. — Abaco N.º 5 (Cálculo de inductancias para solenoides de secciones circulares	21a.	105
27	Magnetismo (continuación). — Teoría atómica	5a.	Resistencias inductivas. — Inductancias acopladas en serie y en paralelo. — Inductancia mutua	22a.	113
28	Constitución del átomo	6a.	Reactancia inductiva. — Inductancias de valores elevados. — Abaco N.º 6 (Reactancias de inductancias para bajas frecuencias). — Abaco N.º 7 (Reactancias de inductancias para altas frecuencias) — Impedancia de un circuito reactivo	23a.	119
30	Manifestación de electricidad. — Experimentos	7a.	Condensadores. — Funcionamiento y comportamiento. — <u>Experiencia: receptor a galena.</u>	24a.	128
33	Corriente eléctrica	8a.	Características de los condensadores usados en radiotécnica. — Capacidad. — Experimento	25a.	133
37	Concepto de la electricidad. — Ley de Ohm. — Unidades eléctricas	9a.	Cálculo de condensadores. — En serie y en paralelo. — Tabla VII (Valor de constante dieléctrica). — Abaco N.º 8 (Cálculo de condensadores). Condensadores en serie. — Abaco N.º 9 (Cálculo de dos condensadores en serie). — Cálculo de capacidad entre conductores; aplicación	26a.	140
41	Aplicaciones de la Ley de Ohm. — Cálculo de la intensidad de la corriente eléctrica. — Idem de la resistencia eléctrica o resistencia óhmica. — Idem de la caída de voltaje	10a.	Condensadores en circuitos de corriente alternada. — Experimento. — Reactancia capacitativa. — Abaco N.º 10 (Cálculo de reactancia de condensadores para baja frecuencia). — Abaco N.º 11 - (Cálculo de la reactancia de condensadores para alta frecuencia). — Impedancia de un circuito que sólo tiene capacidad. — Cálculo	27a.	149
46	Conductores y aisladores. — Tabla I (Resistencias específicas). — Aplicaciones. — Pérdida del voltaje. — Conexión de resistencias en serie; caídas de voltaje. — Tabla II (Alambres de cobre de sección redonda). — Tabla III (Alambres especiales para resistencias)	11a.	<u>Recepción. — Diseños de receptores a galena</u>	28a.	158
54	Efecto de la temperatura en los conductores. — Tabla IV (Coeficientes de temperatura). — Código internacional de colores aplicado a las resistencias. — Tabla (Resistividad de materiales sólidos dieléctricos. — Abaco N.º 1 (Su empleo para la ley de Ohm). — Ejemplos	12a.	<u>Resonancia.</u> — Curvas de resonancia. — Cálculo de circuitos resonantes. — Abaco N.º 12 (Relación entre Inductancia, Capacidad y Frecuencia para ondas cortas). — Abaco N.º 13 (Relación entre la Inductancia, Capacidad y Frecuencia para ondas de broadcasting (ondas medias). — Abaco N.º 14 (Relación entre la Inductancia, Capacidad y Frecuencia para ondas largas)	29a.	163
63	Aplicaciones de la ley de Ohm. — Resistencia en paralelo	13a.	Válvulas termoiónicas. — Teoría elec-		
67	Resistencias en paralelo (más de dos). — Resistencias en conexión mixta	14a.			
73	Cantidad de electricidad, Potencia y Energía eléctrica. — Ley de Joule.	15a.			
77	Aplicaciones generales de todas las leyes estudiadas y aplicadas a la Radiotelefonía. — Abaco N.º 2 (Resistencias en paralelo). — Abaco N.º 3 (Relación entre Watt-Volt-Ampere)	16a.			
83	Diferencias entre corrientes continua y alternada. — Generación de la fuerza electromotriz. — Corriente inducida. — Ley de Lenz	17a.			

v. pág. 177, "in fine"; tb. pág. 193
v. pág. 170, 3º B

pág.	TEMAS	N.º Lección
173	trónica de las válvulas de radio. — Lámpara de dos electrodos o <u>diodo</u> . — <u>Triodo</u> . — Característica de la grilla y placa de un triodo; su interpretación. — Resistencia interna. — Factor de amplificación. — Conductancia mutua o transconductancia	30a.
190	<u>Detección</u> . — <u>Teoría</u> . — <u>Receptor de una válvula utilizando un triodo</u> . .	31a.
195	<u>Amplificación de baja y alta frecuencia</u> . — <u>Amplificación de tensión</u> .	32a.
201	Electromagnetismo. — Tabla VIII (Valores de permeabilidad magnética máximos). — Ley de Ohm para el electromagnetismo. — <u>Teléfonos y altoparlantes</u> . — <u>Diversos tipos</u>	33a.
216	Válvulas (continuación). — <u>Tetrodo</u> . — <u>Pentodos</u>	34a.
221	<u>Receptor de dos válvulas</u> . — <u>Construcción</u>	35a.
225	<u>Amplificación de baja frecuencia</u> . — <u>Sistemas de amplificación de baja frecuencia</u> . — <u>Cálculo de un amplificador de tensión o de voltaje</u> . — Abaco N.º 15 (Eficiencia de acoplamiento para condensador y resistencia de grilla). — Tabla IX . .	36a.
235	<u>Instrumentos de medición</u> . — <u>Teoría</u> . — <u>Distintos usos</u> . — <u>Voltímetros</u>	37a.
250	<u>Válvulas de radio de calentamiento directo e indirecto</u>	38a.
254	<u>Receptor de tres válvulas</u> . — <u>Lámina descriptiva</u> . — <u>Lista de materiales</u>	39a.

TEMAS	N.º Lección	pág.
Cálculos de la carga de placa de las etapas de radio frecuencia	40a.	260
<u>Instrumentos de medición (continuación)</u> . — <u>Instrumentos térmicos</u> . — <u>Otros tipos de instrumentos de mediciones</u> . — <u>Amortiguamiento; sistemas</u> . — <u>Calor en los instrumentos</u> . — <u>Comentario</u> . — <u>Escala de los instrumentos de medición</u> . .	41a.	265
Receptor con amplificación de alta frecuencia y válvulas de calentamiento indirecto. — <u>Lámina descriptiva</u>	42a.	274
Distintos tipos de válvulas de calentamiento indirecto. — <u>Pentodos del tipo supercontrol</u> . — <u>Rectificadores de corriente</u> . — <u>Válvula rectificadora de corriente</u>	43a.	283
Resistencia de circuitos recorridos por corrientes de alta frecuencia Efecto Skin. — Tabla X	44a.	290
<u>Instrumentos de medición universal</u> . Receptor de ambas corrientes y dos etapas de amplificación de alta frecuencia. — <u>Sistema de amplificación de baja frecuencia a resistencias y empleando como válvula final un pentodo especial y altoparlante electrodinámico</u>	45a.	297
	45a.	304
Cálculo de <u>transformadores de corriente alternada empleados en radio-técnica</u>	46a.	308
Diseño completo de un circuito resonante, teniendo en cuenta los valores óptimos del diámetro de los conductores en alta frecuencia . .	47a.	317
	48a.	336

⊗ 45a. Lição 2ª parte (final) - pág. 304 - Fontes de alimentação (continuação) vem da pág. 289 (parte final da 4ª Lição)

INSTRUCCIONES.- 1

Señor Alumno!

Debiendo este Departamento de Enseñanza de acuerdo con su organización, integrar el fichero de alumnos, a fin de completar los detalles preparatorios del primer examen parcial de cada una de las materias que está desarrollando, solicitámosle se sirva llenar el formulario que se incluye al pie, escribiendo con claridad los datos que se le pide nos indique.

Saludamos a usted muy atentamente
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA
EDITORIAL HOBBY
Venezuela 668 - Bs. Aires

Corte por aquí

Ficha de inscripción No. _____
(NO LLENAR)

Apellido y nombre _____

Domicilio _____ Localidad _____

Curso/s que estudia _____

¿Qué otra profesión desearía estudiar
por medio de nuestro sistema? _____

¿Dónde adquiere Vd. esta publicación? _____

Nota: Sírvase remitir esta ficha a vuelta de correo a!

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA
EDITORIAL HOBBY
Venezuela 668 - Bs. Aires

Corte por aquí

INSTRUCCIONES. -2

Señor Alumno:

En el tomo II de esta materia (Volumen No. 13 de "CURSOS") se incluye las fórmulas correspondientes al PRIMER EXAMEN PARCIAL.

Las preguntas que se formula deberán ser transcritas en el pliego de papel que los alumnos destinen para producir sus respuestas, escribiendo aquéllas y éstas con la mayor claridad posible. Se ha adoptado este temperamento, en virtud de los reiterados deseos de los lectores, en el sentido de no incurrir en mutilaciones de los volúmenes.

Los pliegos de examen serán ajustados a la medida corriente del papel carta comercial.

Siendo el Departamento de Enseñanza de esta Editorial, una entidad de carácter permanente, organizada en forma tal, que le permite comprender el mayor número de alumnos, cualquiera que fuere el lugar de su residencia, se ha debido contemplar razones muy especiales respecto a distancias y otras, de orden personal relativas al ritmo del estudio y posterior iniciación del mismo, en cuyo mérito se ha dispuesto no fijar fecha determinada para la remisión de los exámenes, pudiendo los alumnos someter sus pruebas en la oportunidad más conveniente para ellos.

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA
EDITORIAL HOBBY - VENEZUELA 668, Bs. Aires

ADVERTENCIAS

Se ha reunido en el presente tomo las Lecciones de **RADIO** publicadas en la Revista "CURSOS" (Volúmenes I a XII), conforme al plan metodizado y sistema de auto-examen implantado por el Departamento de Enseñanza de la Editorial Hobby.

El plan aludido, que propende a facilitar el estudio de una o varias profesiones, a las personas que por diversas circunstancias no pueden concurrir a escuelas o institutos especializados, contempla importantes posibilidades que les permite realizar el aprendizaje en los hogares, rendir exámenes por escrito, y, obtener, al finalizar con éxito la carrera, el Diploma que justifique los estudios cursados.

Mediante una meticulosa organización y la colaboración de caracterizados Profesores, se ha concretado una obra de gran aliento y de vigencia permanente que hace posible la incorporación de alumnos en cualquier época.

RECOMENDACIONES IMPORTANTES:

No se limite a leer las Lecciones una sola vez. Hágalo el número de veces necesario para tener un conocimiento permanente de la enseñanza.

Cuando considere que ha comprendido el contenido de cada Lección, ha llegado el momento de responder a las preguntas que orientarán su auto-examen.

Escriba sus respuestas y compárelas con las contenidas en este tomo; podrá establecer si ha interpretado algo erróneamente. Si esto ocurriese vuelva sobre lo estudiado y rectifíquese USTED mismo. Este ejercicio de auto-corrección contribuirá a actualizar sus conocimientos librándole de algún posible error. **NO REMITA LAS RESPUESTAS.**

La enseñanza se imparte por medio de lecciones, en forma fácil, metódica y comprensible. No mantenemos correspondencia referente a las mismas, pues el sistema de auto-examen reemplaza a las consultas previstas.

El Departamento de Enseñanza de la Editorial HOBBY, en las oportunidades que corresponda, procederá a otorgar a los alumnos cuyas pruebas merezcan aprobación, Certificados parciales de estudios y, finalmente, el Diploma de cada especialidad, sin que él importe gasto extra alguno por parte del alumno.

Inclúyese en este tomo, anexo al texto de estudio:

- 1.º—Cuestionarios para auto-examen a los cuales el alumno responderá en forma correlativa con las Lecciones estudiadas verificando "sus" respuestas con las contenidas al final de este curso. Esos Cuestionarios y respuestas no deberán ser remitidos al Departamento de Enseñanza, sino que, los reservará el alumno para recapitular los conocimientos adquiridos.
- 2.º—Circular N.º 1. — El cupón que figura al pie de dicha Circular será enviado a: **EDITORIAL HOBBY** — Departamento de Enseñanza — Venezuela 668 — Buenos Aires (Argentina).
- 3.º—Circular N.º 2. — Instruye acerca del PRIMER EXAMEN PARCIAL cuyos tópicos se insertarán a continuación de la Lección N.º 52, tomo II de esta materia, (N.º 13 de "CURSOS").

Las Lecciones siguientes a las contenidas en este libro se publican a razón de cuatro por vez, en cada edición mensual de la Revista CURSOS, a partir del volumen N.º 13. Dichos volúmenes subsiguientes, se los puede adquirir al precio de UN PESO, Moneda Argentina, en Librerías, puestos de venta de revistas, o, en la

EDITORIAL HOBBY
VENEZUELA 668
Buenos Aires - Argentina

NOTA: El II Tomo de esta materia comprenderá las Lecciones 49 y 96 y se compilará al publicarse el volumen N.º 24 de CURSOS.

INTRODUCCION

El estudio del magnetismo tiene especial importancia en la radiotécnica, puesto que el conocimiento de sus fenómenos nos permite apreciar en qué magnitud se aplican sus leyes al electromagnetismo y por derivación a las corrientes inducidas. Todos los aparatos de radiotelefonía tienen que trabajar bajo la influencia de los campos magnéticos, producidos ya sea por un campo permanente, ya por una bobina recorrida por una corriente continua o por una corriente variable. Los campos magnéticos, los imanes y los electro-imanés desempeñan importantes funciones en la radio, televisión, transmisores y receptores. Los transmisores de alta y baja frecuencia, altoparlantes de tipo magnético y dinámico, pick-ups de tipo fonográfico, eliminadores de baterías A, B y C, los cargadores de batería, etc.; dependen, para su funcionamiento, del magnetismo. Así también la transmisión de las señales de radio se debe en parte a la acción de los campos electromagnéticos que envían a través del espacio las antenas transmisoras de las estaciones de broadcasting. Hasta en nuestra vida diaria desempeña el magnetismo importantes funciones. Si no fuera por la acción magnética, no tendríamos dínamos para la generación de la fuerza electro-motriz en gran escala para el comercio, ni motores eléctricos para la industria. El teléfono, el teléfono y otras mil necesidades de la vida actual, dependen también de la acción magnética. Como sucede con la electricidad, no podemos ver el magnetismo, pero esto no nos impide llegar a su profundo conocimiento mediante el estudio de los numerosos fenómenos que pueden observarse y medirse y, por lo tanto, compararse.

Por lo general, nuestro primer contacto con el magnetismo tiene lugar durante la niñez, cuando "descubrimos" que un pequeño imán en forma de herradura, pintado de un brillante rojo, levanta clavos, agujas y otros objetos de hierro, sin explicarnos el porqué. Algunos habrán observado también que una aguja imanada de acero templado señala el norte y el sur cuando se la suspende por su centro (brújula). El fenómeno del magnetismo fué conocido por la humanidad en épocas muy remotas, en distintos lugares y en diferentes épocas.

Hace muchos siglos que el hombre descubrió que si se suspende de un hilo, de manera que pudieran moverse libremente, pequeños trozos de cierta clase de minerales de hierro, dichos trozos señalaban invariablemente la estrella polar (que daba la dirección del polo norte). Este mineral fué usado como brújula por los primeros navegantes escandinavos y por los chinos en el año 218 de nuestra era. Este mineral (óxido de hierro) que hoy se llama magnetita, era conocido con el nombre de imán natural. No toda la magnetita se encuentra imanada. El nombre de "magnetita" se debe al hecho de que las mejores muestras de este mineral fueron encontradas originariamente, en su mayoría, en la ciudad de Magnesia, del Asia Menor. Los griegos ya tenían conocimiento de estas piedras en el año 585 a. J. C. Estos minerales se llaman imanes naturales, porque se encuentran en la tierra ya imanados en la mayoría de los casos.

IMANES Y SUS PROPIEDADES

Los imanes son trozos de acero que tienen la propiedad de atraer el hierro, sus componentes y aleaciones. Esta propiedad, denominada propiedad magnética, fué descubierta con los imanes naturales (magnetita). Si se frota un trozo de acero templado con un imán, siempre en el mismo sentido, se observará que el acero también se imana, y si se lo suspende por su centro señalará la dirección norte-sud. Si se lo introduce en un montón de limaduras de hierro, tachuelas o clavos de hierro, y luego se lo retira, las limaduras o clavos quedarán adheridos al trozo de acero imanado, particularmente en dos puntos bien definidos, como se ve en la figura 1. Es-

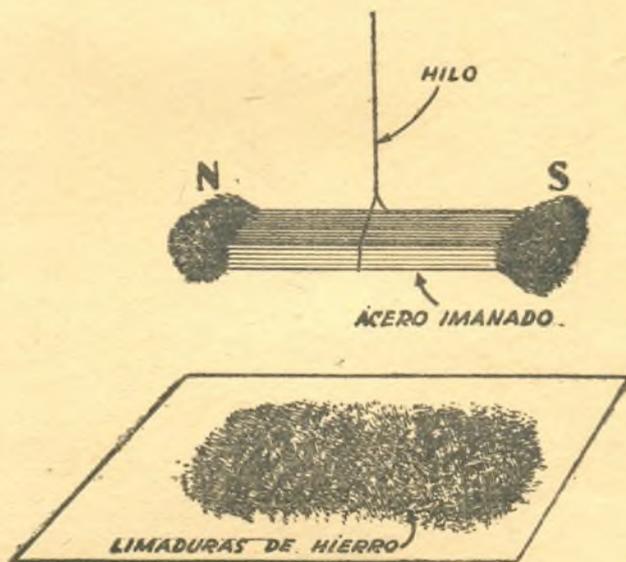


Fig. 1

tos puntos se llaman polos del imán y son los puntos del imán por donde las líneas de fuerza magnética entran o salen. El polo que señala siempre el polo norte magnético de la tierra cuando se suspende libremente el imán, se llama polo norte, (N) del imán. El otro se llama polo sud (S). La tierra misma es un gran imán con sus polos magnéticos que se alejan muy poco de los polos geográficos. Esta propiedad de atraer el hierro y el acero, se llama magnetismo y el cuerpo que la posee se llama imán. Los imanes naturales no se emplean en el comercio actualmente, pues han sido reemplazados por aleaciones de hierro que dan imanes mucho más fuertes y más satisfactorios que los naturales. Tampoco se iman ya los imanes artificiales por frotación con imanes naturales, sino que, como veremos luego, son poderosamente imanados colocándolos dentro de solenoides (bobinas), a través de los cuales circula corriente eléctrica. Por último, conviene aclarar: ¿A qué causas se debe el campo magnético terrestre? Gilbert emitió la hipótesis, actualmente abandonada, de que la tierra era asimilable a un imán. De todos modos, se puede atribuir una acción considerable a la imanación de ciertas rocas que constituyen el globo terrestre. También se buscó el origen del magnetismo terrestre en las corrientes eléctricas que circu-

lan alrededor de nuestro planeta. Otros han atribuído esa causa a la acción del sol. Más reciente, se acepta la hipótesis según la cual el sol envía a la tierra, ora rayos catódicos, ora ondas electromagnéticas capaces de producir o de modificar el campo magnético terrestre. Por otra parte, no sería raro que actuaran ambas causas simultáneamente. De cualquier manera, observamos que la tierra se comporta como un gran imán.

LEYES DE ATRACCION Y REPULSION

Si se toman dos barras de imán, de acero templado, y se las suspende libremente por un hilo, pueden determinarse los polos norte y sud observando qué extremo señala el polo norte en cada caso. Se marcan estos polos en los imanes. Ahora bien; si se acerca el polo norte de un imán al polo

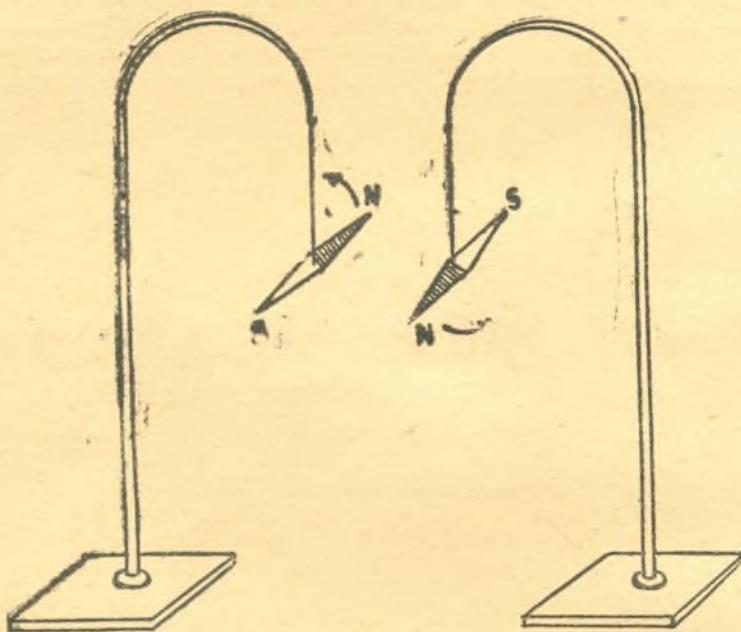


Fig. 2

norte del otro, como se ve en la figura 2, se observa que se produce una fuerza de repulsión. Si se acerca el polo sud del uno al polo sud del otro, nuevamente aparece esa fuerza de repulsión. Si ahora, en cambio, acercamos el polo norte de un imán al polo sud del otro, aparece una fuerza de atracción que los mantiene unidos (fig. 3). Lo mismo ocurre si se acerca el polo norte del 1.º al polo sud del 2.º. Estos resultados pueden resumirse en las dos primeras leyes de atracción y repulsión magnética, a saber: Los polos de dos imanes de distinto nombre se atraen. Los polos de dos imanes del mismo nombre se rechazan. Se conviene generalmente en llamar polo norte magnético al polo del imán que es atraído por el polo norte magnético de la tierra. Sin embargo, es evidente que puesto que los polos distintos se atraen, al polo magnético de la tierra en el hemisferio norte debe ser, en realidad, al polo sud magnético del imán. Pero se emplea, en la práctica, como polo norte de un imán el que indica el norte para evitar confusiones en los conceptos.

La fuerza de atracción y repulsión magnética entre dos imanes, disminuye rápidamente cuando se aumenta la distancia entre ambos, y, por el contrario, aumenta cuando se los aproxima. Esto puede comprobarse ex-

perimentalmente colocando dos polos contrarios de dos agujas imanadas a 1 cm. de distancia y se observa la fuerza de atracción; luego se aumenta a cuatro veces la distancia y se vuelve a medir la fuerza de atracción. Si se dispone de una balanza muy sensible para medir la fuerza en cada caso, se encontrará que cuando se aumenta la distancia cuatro veces, la fuerza de atracción o repulsión varía en $1/16$ (una dieciseisava parte). Esta

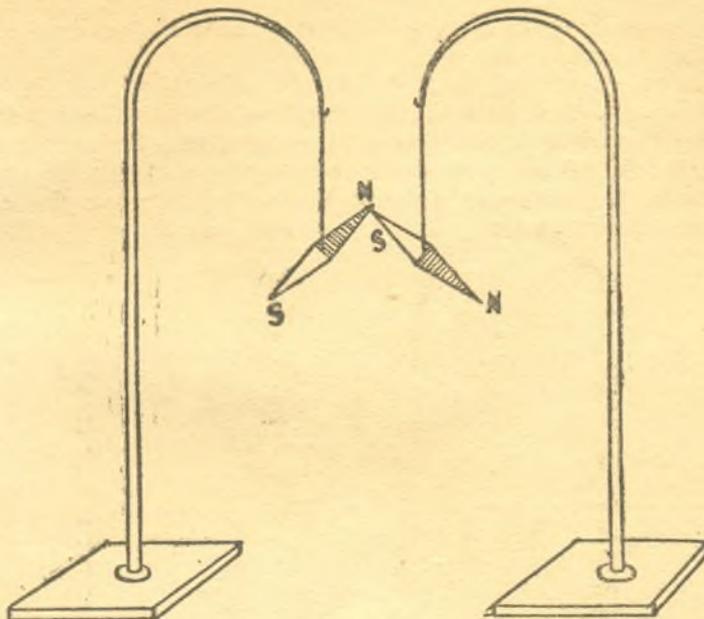


Fig. 3

observación nos conduce a la ley que dice: la fuerza de atracción o propulsión entre dos polos magnéticos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Esta ley fué establecida por Coulomb experimentalmente. Más tarde veremos su significado.

CLASIFICACION MAGNETICA DE LAS SUSTANCIAS

Toda sustancia capaz de ser imanada o atraída por un imán se designa con el nombre de sustancia magnética. Por oposición, se denominan sustancias no magnéticas aquellas que no son atraídas de una manera notable. Actualmente se ha comprobado que algunas sustancias llegan a ser débilmente imanadas en dirección opuesta a la del campo magnético, (suponiendo que la dirección del campo magnético es del polo norte hacia el polo sud). Esta observación permite una clasificación mucho más detallada de los materiales magnéticos con respecto a la comúnmente conocida.

Cuando ciertas sustancias tales como el bismuto, antimonio, cobre, plata, zinc, azufre, mercurio, oro, agua y cuarzo son colocadas en un intenso campo magnético y se imanán débilmente en dirección opuesta a la del campo magnético se denominan **sustancias diamagnéticas**. Si se colocan en un intenso campo magnético sustancias tales como el aire, oxígeno, manganeso, cromo, platino, aluminio, etc., éstas se imanán débilmente en la misma dirección del campo magnético; por eso se denominan **sustancias paramagnéticas**. Cuando se colocan en un campo magnético, hierro, acero, níquel o cobalto, éstos se imanán fuertemente en la misma dirección del campo. Estas sustancias se caracterizan por el hecho de que un campo débil produce en ellas una fuerte imanación y se denominan **sustancias ferromagnéticas**.

Las sustancias paramagnéticas y diamagnéticas se imanar tan débilmente bajo la acción de campos magnéticos intensos, que en las aplicaciones prácticas se las considera como no magnéticas. Desde un punto de vista práctico se consideran sustancias magnéticas el acero, hierro, níquel y cobalto; de estas cuatro sustancias las más magnéticas son el hierro y el acero, siendo el cobalto la más débil. En las aplicaciones prácticas de magnetismo el acero y el hierro son las sustancias más empleadas. Para la fabricación comercial de imanes permanentes que rindan una gran fuerza magnética se le agrega al acero pequeños porcentajes de níquel, cobalto o tungsteno. Todas las otras sustancias, tales como el aire, cobre, bronce, aluminio, zinc, vidrio, etcétera, son prácticamente no magnéticas.

Hace unos pocos años fué descubierta una aleación de hierro, níquel, cobalto y otras sustancias no dadas a conocer, que, una vez unidas e imanadas, dan un imán artificial más poderoso en proporción a su tamaño que los usados hasta entonces. Se le llamó "Alnico" y actualmente se emplea en todos los órdenes en la Radiotécnica y con especialidad en los altoparlantes.

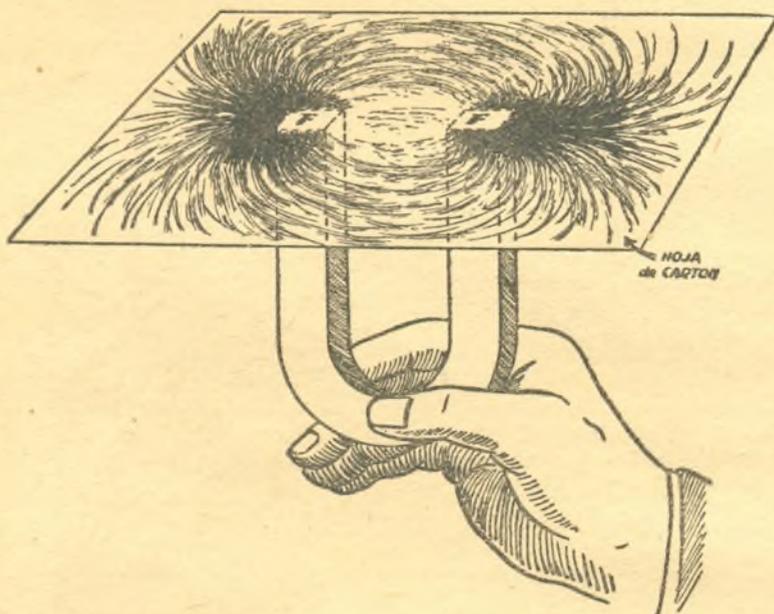


Fig. 4

EXPERIMENTO

Si se acercan a un imán los trozos de minerales mencionados, se observará que sólo son atraídos el hierro, acero, níquel, cobalto y cromo; esta atracción es muy débil en los tres últimos. Coloquemos ahora una delgada lámina de bronce o cobre contra los polos de un imán. Si se coloca un trozo de hierro encima de la lámina, se verá que es atraído por el imán, a pesar de estar intercalada la lámina, lo cual demuestra que la fuerza magnética penetra a través del cobre o bronce no magnéticos. Si se introduce luego el cobre o bronce en limaduras de hierro, se verá que no son atraídas, lo cual indica que tampoco se imanar. Si tomamos limaduras de hierro y bronce y las mezclamos con un imán, conseguiremos separarlas.

LINEAS MAGNETICAS - LINEAS DE FUERZA CAMPO MAGNETICO Y LINEA NEUTRA

Cuando se introduce un imán en limaduras de hierro (fig. 1), se ve que la fuerza de atracción del imán es mayor en la proximidad de los extremos que llamamos polos. Como veremos en seguida, los efectos magnéticos dejan sentir su influencia a una considerable distancia del espacio que rodea al imán. El espacio sometido a la influencia de un imán y dentro del cual una sustancia magnética se halla sometida a las fuerzas de atracción o de repulsión, se llama **campo magnético**. Se conviene en llamar **línea de fuerza**, a la dirección en que actúa la fuerza magnética en un punto cualquiera del campo magnético. Sin embargo, no se cometerá el error de suponer que las líneas magnéticas o de fuerza magnética tienen una existencia material. No existen líneas alrededor del imán. Lo que llamamos líneas de fuerza son simplemente líneas imaginarias a través de las cuales actúa la fuerza magnética. El conjunto de todas las líneas de fuerzas mag-

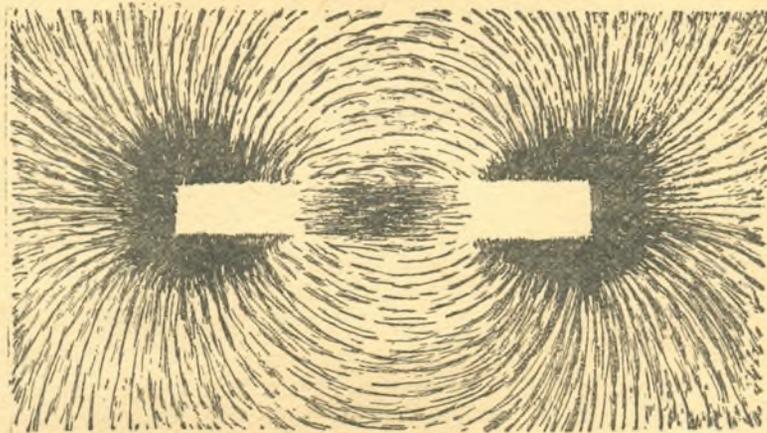


Fig. 5

néticas que cruzan un espacio dado o campo, se denomina **flujo magnético**. Las líneas de fuerza o líneas magnéticas pueden observarse por medio del siguiente experimento: Aplíquese contra las caras F. F. del imán de la figura 4, un cartón delgado que se espolvorea con limaduras de hierro; éstas, influenciadas por los polos del imán, se dispondrán formando curvas regulares que van de un polo a otro (figura 5). La formación de la imagen de este experimento se llama **Espectro o fantasma magnético**, y se explica del siguiente modo: Cada grano de limadura, que es más o menos alargado, por la influencia de los polos se convierte en una pequeña aguja imanada, y ésta se orienta en la dirección del campo magnético (ver fig. 2 B) en el punto donde se halla la limadura. Las líneas de limaduras indican, pues, en cada punto, la dirección del campo del imán. Análogamente, si se mueve una pequeña brújula dentro del campo magnético de un imán, ésta se orientará según la dirección de la fuerza magnética (fig. 6). De esta manera puede determinarse la forma del campo magnético del imán mediante limaduras de hierro o de una pequeña brújula, aun cuando las fuerzas magnéticas sean

invisibles. Las cartas magnéticas o figuras obtenidas en esta forma prestan inapreciables servicios, puesto que muestran la distribución del campo magnético. Así, mediante estos métodos, puede estudiarse, fácilmente, la intensidad y dirección de los campos magnéticos de los transformadores, de las bobinas, etc. La fuerza del campo magnético en cualquier punto se expresa en líneas de fuerza por centímetro de superficie.

LINEA NEUTRA

Si observamos las figuras 1, 6 y 7, veremos que en el centro del imán no se produce ninguna atracción ni repulsión, pues no se nota la presencia de líneas magnéticas. Esto lo podemos comprobar, acercando un trozo de hierro dulce al centro de la barra de la figura 6 marcando H-H.

Notamos con extrañeza que el hierro dulce, a pesar de ser atraído fuertemente por cualquiera de los polos, al acercarse al centro del imán no se nota ninguna influencia magnética.

Esto lo podríamos explicar diciendo que en la región H-H la influencia de los dos polos es exactamente la misma, pues uno de los polos produ-

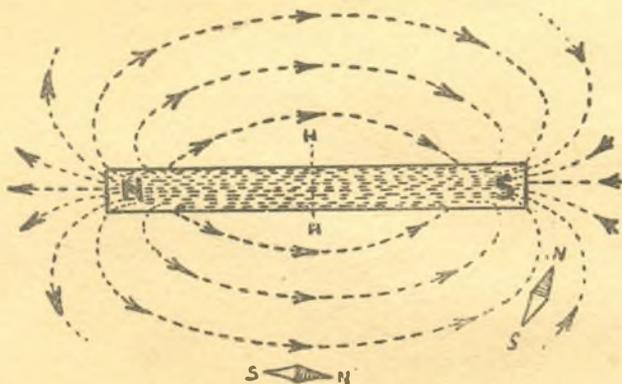


Fig. 6

ce en el hierro dulce una fuerza de sentido contrario a la del otro y de igual intensidad; no son atraídos porque la atracción de los dos polos es en fuerza la misma, que es el mismo caso de la balanza que, a pesar de soportar un peso mayor, ésta se mantiene en equilibrio si los dos puntos tienen el mismo peso.

Puesto que en la zona mencionada H-H no se producen influencias magnéticas, se la llama **Línea Neutra**.

Por razones de conveniencia para la explicación de ciertos fenómenos eléctricos, se asigna dirección y posición a las líneas de fuerza. Se conviene en que las líneas de fuerza salen del polo N. del imán y entran por el polo S. atraviesan el imán dirigiéndose hacia el polo N. describiendo siempre curvas cerradas, como lo muestra la fig. 6. Observando la fig. 6, se ve que las líneas de fuerza de un imán recto deben recorrer cierta distancia a través del aire, que es un medio muy poco magnético. Si la barra del imán tiene forma de herradura, como se ve en la fig. 7, el camino que deben recorrer las líneas de fuerza está en su mayor parte sobre el mismo hierro, que es un material bien magnético, siendo muy pequeña la distancia que deben recorrer a través del aire, ya que ambos polos están muy próximos el uno del otro. Esta forma en herradura permite que la fuerza magnética se concentre en su mayoría en el corto espacio que separa los polos, con lo que se obtiene un imán mucho más poderoso que el imán recto. Por esta razón, los imanes

permanentes que se emplean en la vida práctica tienen forma de herradura o de E cerrada en los parlantes. En los equipos de radio se emplean también estas formas de imán, en los teléfonos, altoparlantes, pick-ups fonográficos, micrófonos, etc. El proceso general en la fabricación de estos imanes es el siguiente: se toma el trozo de acero dándole la forma y haciendo los agujeros necesarios, mientras está blando. Luego se lo temple calentándolo al rojo y sumergiéndolo en seguida en agua o aceite. Luego se lo imana mediante un poderoso campo magnético producido por una corriente eléctrica. En la fabricación de imanes permanentes se emplean aleaciones especiales de acero, pues el hierro dulce no retiene el magnetismo. Aunque el hierro dulce posee mayor fuerza de atracción que el acero templado en presencia de una fuerza magnética, en cambio, una vez que deja de actuar la fuerza magnética el acero conserva el poder de atracción y el hierro dulce no.

IMANES TEMPORARIOS Y PERMANENTES

Cuando una substancia magnética (hierro) está influída por un imán, el polo inducido es opuesto al polo inductor. Por ejemplo, si tomamos el

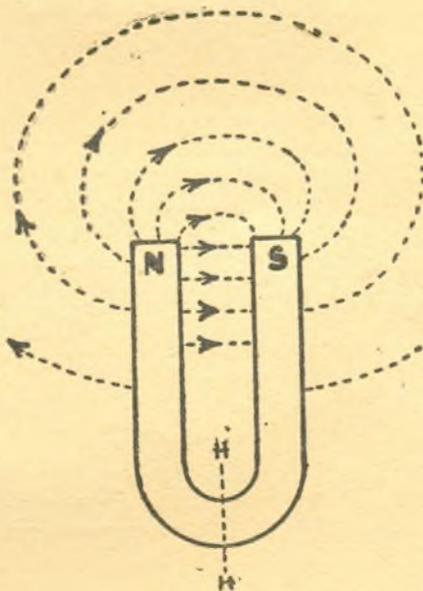


Fig. 7

polo norte, será inducido un polo sur, y de esta manera se explica que cuando acercamos un imán a un trozo de hierro dulce, éste es atraído por el imán.

Si se introduce un imán en limaduras de hierro dulce se verá que éstas son atraídas por el imán y son imanadas al mismo tiempo, atrayéndose las unas a las otras. Si se las aparta del imán, pierden su magnetismo por completo. Su magnetismo es solamente temporario, es decir, son imanes temporarios. En cambio, el imán que se utilizó, retiene la mayor parte del magnetismo de la imantación primitiva; por esta razón se lo denomina imán permanente.

Numerosas sustancias magnéticas tales como el hierro dulce, acero blando, níquel, etc., pierden prácticamente todo su magnetismo tan pronto como cesa de actuar la fuerza magnética. El acero templado y sus aleaciones conservan sus propiedades magnéticas durante largo tiempo. Los imanes per-

manentes que se emplean en instrumentos de mediciones eléctricas, teléfonos, altoparlantes, pick-ups fonográficos, etc., se fabrican con aleaciones de acero templado. El poder que tiene una sustancia de retener su magnetismo cuando deja de actuar la fuerza magnética, es lo que se denomina poder de retención. Los aceros que se emplean en la fabricación de buenos imanes permanentes tienen un gran poder de retención. El hierro dulce tiene muy poca retención. El magnetismo que retiene un trozo de hierro o de acero blando después de sometido a un determinado campo magnético, es lo que se llama "residuo" o magnetismo remanente. Este último término es muy empleado, sobre todo por la importancia que tiene en los transformadores y en los motores.

3a. LECCION

TEORIA MOLECULAR DEL MAGNETISMO

Son muchas las teorías desarrolladas para tratar de explicar los fenómenos magnéticos. La explicación más popular y aceptada es la llamada "teoría molecular del magnetismo" desarrollada y aceptada por Weber. Según ella, cada molécula (considerando una molécula la partícula de cuerpo más pequeña que podemos concebir), de una sustancia magnética, es a su vez un pequeño imán con sus polos norte y sud. Cuando un trozo de hierro dulce no está imanado, se supone que todas sus moléculas están dispues-

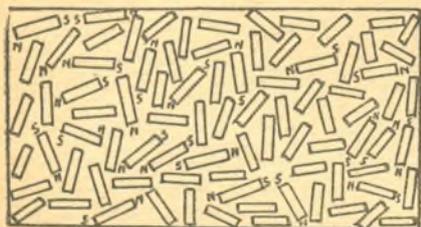


Fig. 8

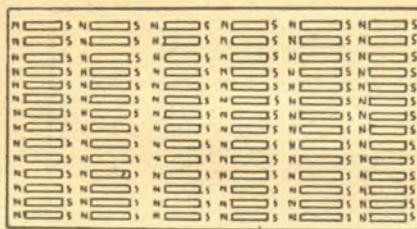


Fig. 9

tas a capricho, como se ve en la figura 8. Los polos se neutralizan los unos a los otros de tal manera que no se observan manifestaciones de magnetismo fuera del cuerpo. La acción de imanar una sustancia magnética consiste en someterla bajo la acción de una fuerza magnética de tal manera, que sus moléculas se orientan según cierta dirección, como se ve en la fig. 9. En tal caso, actúan en conjunto como un solo imán, puesto que las fuerzas combinadas de las distintas moléculas actúan en la misma dirección, y por lo tanto se suman.

Esta teoría del magnetismo está apoyada por numerosos hechos que pueden comprobarse experimentalmente. Por ejemplo, calentando, o haciendo vibrar un imán se debilita mucho en su poder magnético, puesto que ambos procedimientos facilitan la disposición caprichosa de las moléculas, como en la figura 8. Cuando se imana y desimana rápidamente un imán, éste se calienta, lo que indica la existencia de una fricción debida al movimiento de la molécula. Si se corta un imán por su mitad, se comprueba la existencia de polos opuestos en ambos extremos de la división (fig. 10). Mediciones cuidadosas indican que las sustancias sufren variaciones en su longitud, cuan-

do son imanadas. En general, la sustancia se dilata en un principio y luego se contrae. Este último fenómeno de contracción se conoce con el nombre de "contracción magnética". La diferencia entre imanes permanentes e imanes temporarios, se debe al hecho de que en el acero templado que se emplea en los imanes permanentes hay mayor fricción entre las moléculas. Después que las moléculas se han orientado durante la imanación, esta fricción evita que las moléculas vuelvan fácilmente a su anterior posición. Si se coloca un trozo de hierro en un campo magnético, el porcentaje de imanación aumenta cuando aumenta la fuerza del campo magnético. Al fin, se llega a una condición en que todas las moléculas están orientadas, como lo indica la figura 9. Se dice entonces que el hierro está magnéticamente saturado, porque todas sus moléculas están orientadas y por lo tanto no es posible aumentar su fuerza magnética. La facilidad con que se satura magnéticamente un acero es en muchos casos un factor determinante para su aplicación en determinados casos.

Una manera fácil de explicarse la teoría molecular del magnetismo es la siguiente. Si tomamos una barra imanada y la dividimos en dos partes iguales, obtendremos dos imanes con sus respectivos polos norte y sud (fig. 10).

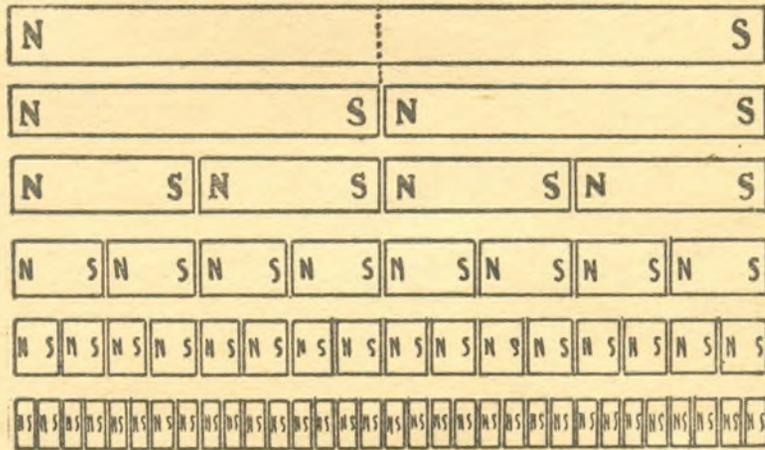


Fig. 10

Si cada mitad la dividimos en otra mitad, o sea que obtenemos cuartos del imán primitivo, obtendremos 4 imanes iguales a un cuarto del original y con la cuarta parte del magnetismo; si seguimos en nuestro experimento hasta obtener en un caso hipotético, partículas muy pequeñas, digamos partículas de imán infinitésimo, observamos que esa pequeñísima parte también es un imán con su polo norte y polo sud y con una fuerza magnética igual a un infinitésimo del total.

DURACION DE LOS IMANES PERMANENTES

En muchas aplicaciones prácticas, es esencial que la densidad del flujo de un imán permanente se mantenga constante durante un largo período de tiempo. Ejemplos de tales casos son los imanes permanentes de los instrumentos de medición, de los teléfonos, altoparlantes y pick-ups fonográficos, etc. Los imanes permanentes se debilitan gradualmente con el tiempo. La pérdida de imanación es muy grande al poco tiempo de ser imanado, pero luego disminuye muy lentamente. La pérdida de imanación es precipitada por la vibración o calentamiento excesivo del imán. La pérdida magnética se

debe a un cambio estructural de las moléculas del acero, muchas de las cuales vuelven a ocupar posiciones caprichosas. Es posible "envejecer" artificialmente los imanes permanentes sometiéndolos a temperaturas moderadas adecuadas y siempre inferiores al punto en que el acero deja de ser templado. Esto es lo que se llama "envejecimiento" de los imanes y es un método artificial y rápido de disminuir la fuerza magnética hasta el valor constante que sólo hubiera alcanzado después de muchos años. Este procedimiento es muy empleado en la fabricación de imanes permanentes para instrumentos de medición eléctrica, etc. Los imanes pueden "envejecerse" sometiéndolos a una temperatura de 100° C. durante unas doce horas.

IMANES PERMANENTES

En un comienzo, los imanes permanentes se fabricaban con acero templado.

La demanda de imanes que tuvieran mayor grado de fuerza magnética, permanencia y constancia, condujo al uso de las aleaciones de acero. (Una

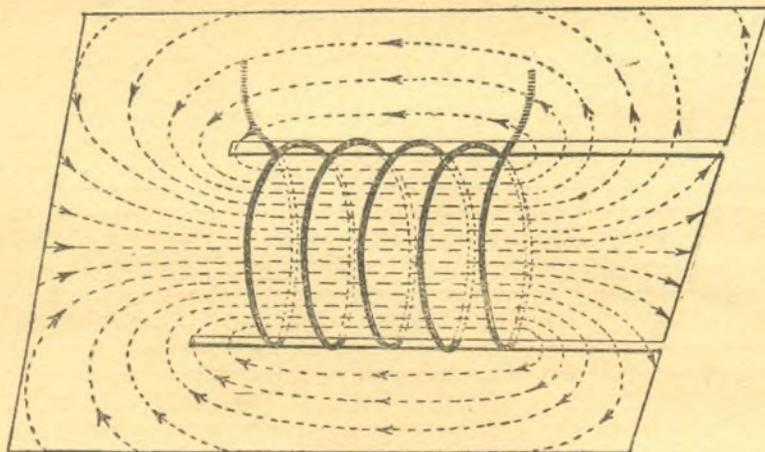


Fig. 11

aleación es una simple combinación de dos o más metales). Dichos metales deben ser químicamente puros. Se encontró que ciertas aleaciones de hierro y tungsteno, de hierro y cromo, poseían estas propiedades. Los imanes de acero y tungsteno son los que se emplean ahora, casi exclusivamente, en la fabricación de imanes permanentes para instrumentos de mediciones eléctricas de mucha precisión.

Recientemente se descubrió que las aleaciones de hierro y cobalto pueden dar mayor rendimiento y mayor fuerza coercitiva que las aleaciones de tungsteno. La fuerza coercitiva de un material magnético es una medida de la fuerza magnética opuesta que se requiere para desimantar completamente un imán y sacar completamente todo magnetismo residual. Por tal razón da una medida de la "permanencia" y mérito de un acero con el que se desea fabricar imanes permanentes. Los imanes de acero y tungsteno usuales contienen un 6 o/o de tungsteno y de 0,55 a 0,80 o/o de carbón, siendo el resto de hierro. Los imanes de acero y cromo contienen un 2 o/o de cromo, 1 o/o de carbón y 97 o/o de hierro. Debe agregarse además una aleación de cobalto y hierro para que el acero cromado sea utilizable en la fabricación de imanes permanentes. Los imanes de acero y cobalto son de 2 tipos: uno que tiene un 9 o/o de cromo, de 0,8 a 1,0 o/o de carbón y de 9 a 20 o/o de cobalto. El otro, conocido como "Acero japonés", contiene un 35 o/o de cobalto, del 3 al 4 o/o de tungsteno, 1 al 2 o/o de cromo y 0,8 o/o de carbón. El uso

del acero de cobalto se ha generalizado en los pick-ups fonográficos electromagnéticos porque poseen entrehierros grandes que determinan una gran pérdida de la fuerza del imán y ésta queda compensada por la calidad de los imanes de acero cobalto.

Los imanes de acero y cobalto son superiores a los de acero y tungsteno. Siendo el cobalto un metal muy caro, la proporción anterior del 35 o/o debe usarse más moderadamente cuando se persigan fines económicos. El objeto buscado es producir imanes permanentes de fuerza y dimensiones convenientes, a un precio razonable. Con estas perspectivas se emplea generalmente un acero que contiene del 9 al 15 o/o de cobalto, aunque también se lo emplea con un 35 o/o de cobalto en determinados casos.

Se ha logrado obtener una aleación especial de acero para la fabricación de imanes permanentes de costo reducido y que tienen una densidad de flujo magnético de más de 3.000 líneas por centímetro cuadrado en el entrehierro. Este imán se emplea en los altoparlantes. Cuando se trate de instrumentos de mediciones eléctricas, teléfonos, altoparlantes y pick-ups fonográficos, etc., se ilustrará suficientemente y en cada caso sobre la aplicación de los imanes permanentes. Los imanes permanentes que se usan en los aparatos eléctricos tienen, por lo general, un baño de cadmio para preservarlos de la humedad, y esto les da un aspecto plateado.

4a. LECCION

CAMPO MAGNETICO DE UN SOLENOIDE (BOBINA)

Uno de los casos más interesantes es el de un carrete de espiras enrolladas, regularmente, aisladas unas de otras, y recorrido por una corriente eléctrica. Se puede formar el fantasma magnético de este sistema disponiendo un cartón como indica la figura 11. Se ve que las líneas formadas por las limaduras de hierro se colocan paralelamente en el interior del carrete. Fuera del carrete, las líneas de fuerza se curvan y se unen igual como si fuese un imán en forma de barra.

Fué Ampere quien dió el nombre de solenoide a semejante carrete. La figura 12 teórica representa, con su sentido, las líneas de fuerza del campo de un solenoide.

ANALOGIA DE UN SOLENOIDE Y DE UN IMAN

La simple inspección del espectro magnético de un solenoide indica una analogía absoluta con el de una barra imantada rectilínea. La experiencia demuestra que un solenoide presenta, en efecto, las propiedades de una barra imantada que tuviese su polo norte en el extremo N., de donde salen las líneas de fuerza, y su polo sur, en el extremo opuesto S., donde entran.

Fácilmente se conoce "a priori" los polos de un solenoide, por la regla siguiente, que está de acuerdo con la figura 12. El polo norte de un solenoide se halla en el extremo situado a la izquierda de un observador, colocado en una espira cualquiera del solenoide, de modo que la corriente le penetre por los pies y salga por la cabeza y que mire hacia el interior de éste.

ACCION DE UN SOLENOIDE SOBRE UN IMAN

Si se acerca una aguja magnética a un polo de un solenoide, se observará que el polo norte del solenoide rechaza el polo norte de la aguja y atrae su polo sud; mientras que el polo sud del solenoide atrae el polo norte de la

aguja. Luego un solenoide actúa sobre un imán como hubiera actuado otro imán.

¿QUE INFLUENCIA TIENE EN EL CAMPO MAGNETICO DE UN SOLENOIDE UNA BARRA DE HIERRO DULCE COLOCADA EN EL?

Si tenemos un solenoide (bobina) formado por un gran número de espiras aisladas entre sí y conectamos la batería, se formará un campo magnético con su polo norte y polo sud, como se ve en la fig. 12. Si acercamos

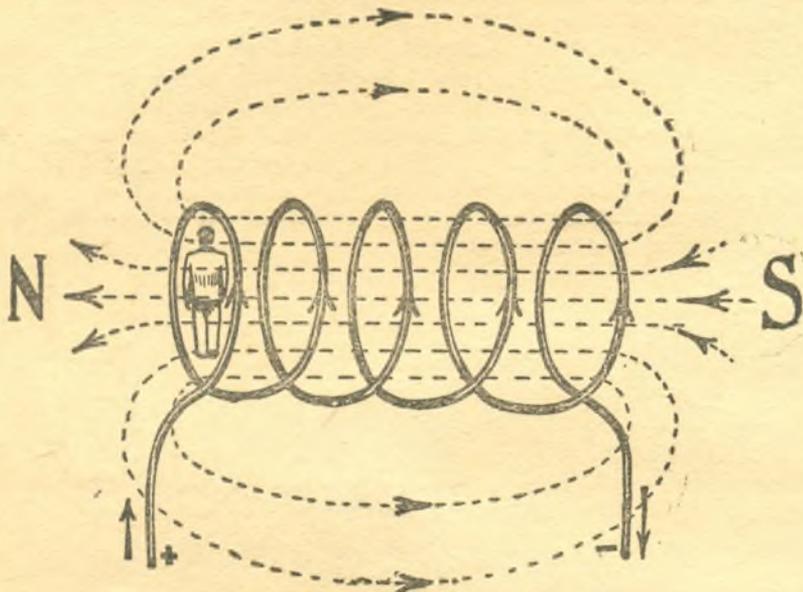


Fig. 12

una brújula a uno de sus polos (fig. 13), observaremos que la brújula se moverá en el sentido en que el polo del solenoide atrae al otro de la brújula de nombre contrario. Lo cual nos revela la existencia del campo magnético del solenoide. Si en las proximidades del solenoide colocamos un trozo de hierro dulce, veremos que la brújula tiende a desviar un poco, lo que indica que el trozo de hierro ha modificado un poco el campo magnético, influido por el solenoide. Pero, aparentemente, fuera de esa desviación no observamos nada raro.

Tomemos una barra de hierro dulce de tamaño tal que pueda introducirse dentro del solenoide. Notaremos inmediatamente que la brújula se ha movido un poco, pero lo que más nos llamaría posiblemente la atención es que si el trozo de hierro dulce colocado en las proximidades del solenoide está bastante próximo a éste, veremos que en el instante en que hemos introducido la barra de hierro, ésta atrae bruscamente a aquél. Este fenómeno nos ha dado a entender que si colocamos dentro de un solenoide una barra de hierro, éste, influido por el campo magnético, ha forzado al propio campo magnético del solenoide al extremo que ha sido capaz de arrastrar un peso igual al trozo de hierro colocado en sus proximidades.

Este es el principio de los electroimanes, que espero recordarán para cuando los estudiemos en particular.

La explicación teórica de este fenómeno es la siguiente: Ya dijimos que un trozo de hierro sin imanar presenta la forma de la figura 8; por lo

tanto, los imanes moleculares, influídos por el campo magnético del solenoide, se han orientado según figura 9, que corresponde a un imán, el cual evidentemente tiene también su campo magnético propio de manera que, sumado al del solenoide, da por resultado un campo mucho más intenso.

DEMOSTRACION MATEMATICA DE LAS FUERZAS MAGNETICAS

Representando las fuerzas de los polos m y m' respectivamente y la distancia entre ellos por d , la fuerza F resulta de la siguiente expresión.

$$F = \frac{m m'}{d^2} \quad (1)$$

Veremos luego que las distancias entre los polos magnéticos fijos y los polos de las partes móviles de los altoparlantes son lo más cortas posible con el fin de desarrollar fuerzas capaces de mover el cono del altoparlante

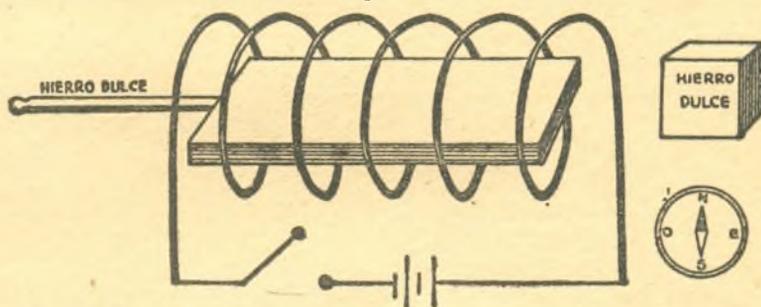


Fig. 13

o membrana. Si el entrehierro es muy grande, el altoparlante funcionará débilmente.

La unidad con que se mide la fuerza de atracción o repulsión de campo magnético es la "DINA". Más tarde explicaremos su significado. Convenimos llamar al sentido de atracción como positivo y, negativo, el de repulsión. Si suponemos dos masas magnéticas, por ejemplo, una norte de 200 unidades magnéticas y una sud de 100 unidades magnéticas a una distancia de 20 cm., tendremos:

$$F = \frac{200 \times 100}{20 \times 20} = 50 \text{ dinas}$$

lo cual dice que la fuerza de atracción será de 50 dinas.

Otro: Supongamos un polo norte de 50 unidades, y otro polo norte de 80 a una distancia de 3 cm., tendremos:

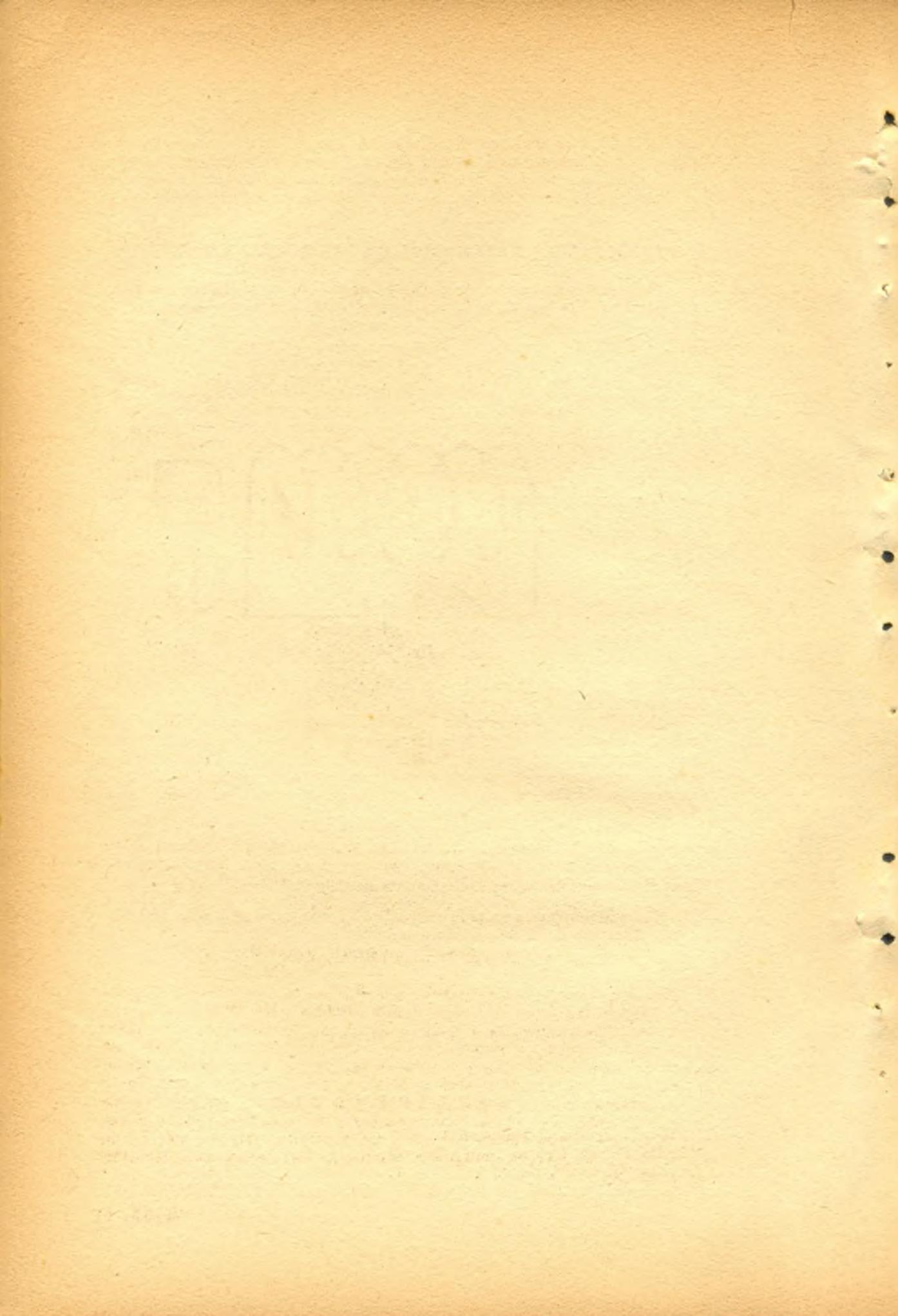
$$F = \frac{50 \times 80}{3 \times 3} = \frac{4000}{9} = 444 \text{ dinas,}$$

o sea que la repulsión será igual a una fuerza de 444 dinas.

(Véase el Apéndice del Curso de Matemáticas).

BIBLIOGRAFIA

- "Física", de Ganot-Maneuverier.
- "Radio Physics Course", de Ghirardi.
- Revista "Hobby", Nros. 1, 2, 3 y 4.
- "Curso de Electricidad" del Ing. Aristimuño ("Rev. Telegráfica").



5a. LECCION

MAGNETISMO (continuación)

Estamos en presencia de un cable de la corriente eléctrica por el cual circula corriente y que atraviesa una tarjeta de cartulina (fig. 14). Si espolvoreamos la tarjeta con limaduras de hierro dulce, éstas se ordenarán de tal manera que nos dará la forma del campo magnético. Podremos ob-

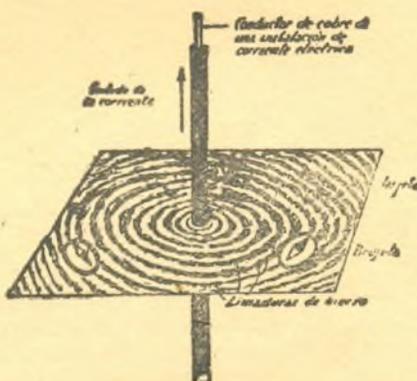


Fig. 14

servar que es de forma circular. Si colocamos una brújula sobre la cartulina veremos que nos indica la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético. Conviene retener este caso particular, pues este fenómeno tiene enormes aplicaciones para el estudio de todas las leyes del electromagnetismo y, especialmente, de la Radiotecnica.

TEORIA ATOMICA. — CARGAS ELECTRICAS

Para que los estudiantes puedan penetrar en la Radiotécnica es preciso que tengan una idea clara de la teoría atómica, base de todos los fenómenos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos. Todos habrán oído hablar de las moléculas y de los átomos, pero no todos conocerán el significado verdadero de estos dos términos y el alcance que tienen en las ciencias físicas.

Ya hemos hablado de imanes moleculares y dijimos que se trataba de imanes infinitamente pequeños que se obtenían dividiendo un gran número de veces un imán. Esto da al lector una pauta del significado de molécula. Este mismo se podría aplicar al cobre, oro, mercurio, oxígeno, etc. En resumen, todos los cuerpos, cualquiera que sea su naturaleza están formados por moléculas.

Pero la molécula propiamente dicha no es la expresión mínima de la materia, sino que se la puede considerar como la mínima cantidad de cuerpo compuesto. Esto se explica fácilmente, recordando que las moléculas a su vez están formadas por átomos. Así, por ejemplo, la sal común o cloruro de sodio, como se la denomina científicamente, en su mínima expresión es una molécula que está formada por un átomo de cloro y un átomo de sodio. En otras palabras, un átomo de sodio y un átomo de cloro dan una molécula de sal común de cocina. De aquí se desprende claramente el concepto de molécula y átomo. Atomo sería la partícula de materia más pequeña. La molécula, en cambio, está formada por átomos. Se llama cuerpo simple al que está formado por una misma clase de átomos, por lo tanto, las moléculas de los cuerpos simples están formadas por cuerpos de la misma naturaleza, por ejemplo: el oro está formado por átomos de oro, el oxígeno está formado por átomos de oxígeno. La molécula puede estar formada por dos o más átomos.

En cambio, si hablamos de cuerpos compuestos, como por ejemplo la sal de cocina común, decimos que está formado por moléculas cuyos átomos son cloro y el sodio.

Ya que se tiene una idea de lo que es cuerpo simple y compuesto, estudiémoslos ahora de acuerdo a las nuevas teorías aceptadas universalmente.

6a. LECCION

CONSTITUCION DEL ATOMO

Se considera un átomo formado por dos elementos, a saber: protones o núcleos y electrones. El átomo puede estar formado por un protón y un electrón; dos protones y dos electrones; ocho protones y ocho electrones, etc., según la clase de la materia a que corresponde el átomo. Estudiemos detenidamente el átomo más simple, que es el del hidrógeno. Dicho átomo está formado por un protón y un electrón (fig. 15). Se considera que el protón es una carga fija tal que hace que el electrón gire alrededor del protón a una

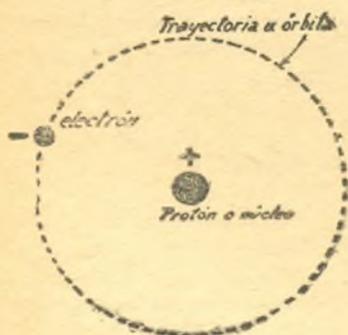


Fig. 15

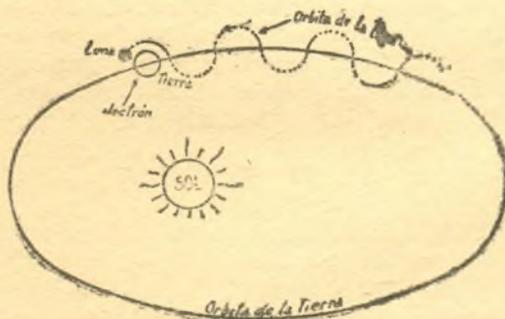


Fig. 16

gran velocidad proyectando siempre una curva cerrada que puede ser una circunferencia o una elipse. Además se comprenderá que si el electrón se mueve siempre alrededor del protón, puede que se deba a diferencias de cargas eléctricas o, para mejor comprensión, de que se deba a diferencias de

polo magnético, lo cual hace que el electrón sea atraído por el protón. Como la influencia es del protón a electrón, llamemos al protón positivo y al electrón negativo. Conviene prestar mucha atención a los conceptos que siguen, pues son la base de la electricidad. El núcleo se considera positivo; el electrón se considera negativo. La curva que describe el electrón se llama trayectoria u órbita y el ambiente en que se hallan ambos se llama éter, que es un ambiente elástico. Para mejor comprensión de lo que acabo de decir, daré como ejemplo a nuestro planeta, la Tierra. Se considera que el Sol que nos ilumina es un protón y que la tierra que habitamos es un electrón (fig. 16) y que ambos formarían un átomo y la elipse que describe el electrón (tierra) alrededor del protón (sol) se llama trayectoria (órbita), y el medio en que la tierra y el sol están, éter. (No tiene nada que ver con la atmósfera que envuelve a la tierra).

El átomo, como ya dije, podrá estar formado por más de un protón y más de un electrón, dependiendo esto del tipo materia. Por esta razón vemos en el espacio brillar muchas estrellas (protones) que son acompañadas por sus respectivas tierras, martes, lunas, etc. (electrones).

Si consideramos un cuerpo cualquiera y su pudiéramos de alguna manera acelerar la velocidad de los electrones conseguiríamos hacer que éstos salgan, por efecto de la fuerza centrífuga, de su órbita (trayectoria), de manera que podría pasarse a otra trayectoria de otro protón y hasta también consiguiéramos que salga fuera del cuerpo. Si tuviéramos un imán podríamos atraerlo.

La palabra "electrón" dió origen a la palabra electricidad, pues una corriente de electrones es una corriente eléctrica, como veremos más adelante.

Campos electrizados (cargas eléctricas). — ¿Qué sucede si a un cuerpo, y por algún medio especial le sustraemos todos los electrones? Lógicamente, me contestarán, quedarán todos los protones; entonces a dicho cuerpo se le llama **ionizado positivamente**, o mejor, en términos conocidos, cargado positivamente. Si el aparato o el cuerpo que utilizamos para quitar los electrones del cuerpo antes mencionado guardase todos los electrones o partes, ese aparato o cuerpo quedaría cargado negativamente o **ionizado negativamente** debido a la acumulación de los electrones. Hagamos un repaso de todo lo dicho:

Los cuerpos están formados por moléculas, las moléculas por átomos, y los átomos, a su vez, están formados por protones y electrones. Si ha perdido electrones queda cargado positivamente, porque los protones se hallan

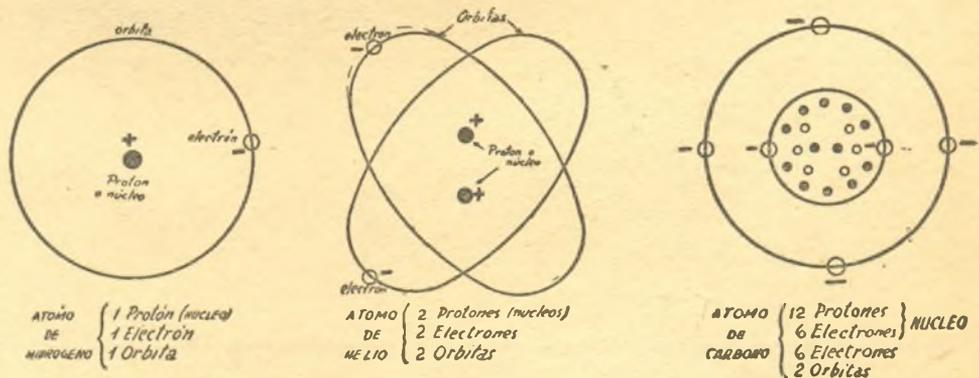


Fig. 17

en más cantidad. Si en cambio el cuerpo ha perdido protones, quedará cargado negativamente. En la práctica se consideran solamente los electrones porque son las partículas móviles y las forman el fluido o carga eléctrica. En pruebas de laboratorio se ha llegado a pesar un electrón cuya cifra damos

a continuación para dar una idea de su peso y por ende del tamaño que esto puede tener: 0,000.000.000.000.000.000.001.250 grs.

También cabe hacer notar que un cuerpo cualquiera no presenta ningún cambio aparente en su estructura ni en su temperatura porque sus cargas negativas (electrones) se equilibran en su totalidad con las cargas positivas (protones) y como ya dijimos, la diferencia en la composición de cada cuerpo depende de la formación de sus moléculas, es decir, del tipo de átomos de que están formadas. En la figura 17 pueden verse representados, varios tipos de átomos que corresponden respectivamente; empezando por la izquierda al Hidrógeno, Helio, Carbón; notarán que el átomo de carbón es bastante complicado. En efecto, su núcleo está formado por 12 protones y 6 electrones teniendo 6 electrones planetarios. Cito solamente estos ejemplos como datos ilustrativos, ya que para el desarrollo de nuestro programa no nos interesa conocer a fondo la teoría atómica, sino que es suficiente tener una idea elemental de la misma debido a que el conocimiento de la teoría electrónica tiene una importancia vital para la comprensión del funcionamiento de las válvulas de radio, etc., como veremos más tarde.

7a. LECCION

MANIFESTACION DE ELECTRICIDAD

Desde el origen de la historia de la civilización se había descubierto que cuando un cuerpo se frotaba con otro cuerpo de distinta naturaleza, el cuerpo frotador y el frotado experimentaban cambios en su naturaleza por el hecho de que tanto uno como el otro cuerpo podían atraer trocitos de papel y también pelotas livianas de saúco, etc.

Se observó más tarde que, acercando una pelota de médula de saúco a un cuerpo frotado, se nota entre éstos una atracción y luego de haberse producido ese fenómeno se rechazan, con gran asombro del experimentador (figura 18).

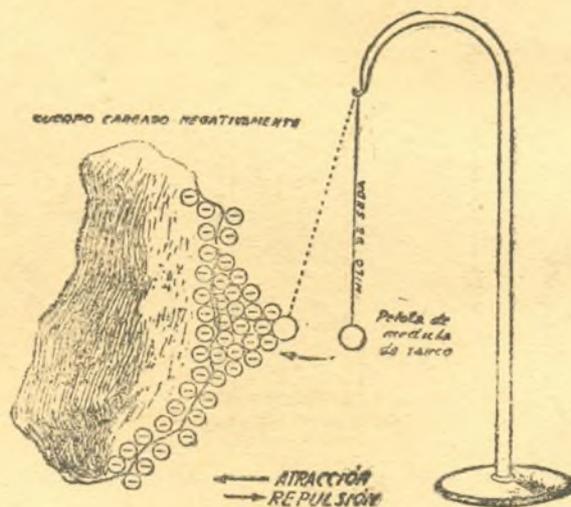


Fig. 18

¿Qué ha ocurrido? Dijimos anteriormente que un cuerpo no presenta características de alteración en su estructura si no se lo somete al calor, al golpe, al frotamiento, etc.; por lo tanto, sus electrones siguen en perfecto equilibrio en su átomo.

Si entonces frotamos un cuerpo con otro de naturaleza distinta, alteraremos por lo tanto el equilibrio de los átomos que se encuentran en la superficie frotada: por lo que habrá una acumulación de electrones sobre la superficie, es decir, que tendremos dicho cuerpo cargado negativamente. Si a esta superficie acercamos una pelota de médula de saúco que por supuesto tiene todos sus átomos en equilibrio, resulta que los electrones del cuerpo frotado se encuentran frente a los protones de la pelota de saúco (figura 18) y, en consecuencia, como vimos en magnetismo, se trata de cargas de distinta naturaleza y por lo tanto, como en las cargas eléctricas sucede lo mismo que con los imanes, resulta que el cuerpo frotado atraerá a la pelota. Pero cuando dicha pelota esté bastante cerca de la superficie frotada, ésta entregará la parte del exceso de electrones a la pelota de médula de saúco, resultando como consecuencia que ésta también se carga negativamente. Y ¿qué resulta de esto? Tenemos que, el cuerpo frotado, está cargado negativamente y también ahora la pelota de saúco, por haber tomado electrones de aquél. Estamos en presencia de dos cargas negativas (recordemos los polos del mismo signo); por lo tanto se rechazarán. Y ésta es la explicación del por qué una pelota de médula de saúco, que había sido atraída por la superficie de un cuerpo frotado, es rechazada luego, bruscamente, por aquél.

Otra experiencia. — Si a la antedicha superficie frotada le acercamos dos pelotas de médula de saúco, una después de otra, notaremos que se repite el fenómeno anterior. Después de haber realizado dicha experiencia tendremos las dos pelotas de médula de saúco cargadas negativamente. ¿Qué sucederá si colocamos una de ellas frente a la otra? Pues se rechazarán por ser del mismo signo su carga eléctrica.

Otra experiencia. — Si recordamos el primer experimento, teníamos un cuerpo frotado y otro frotador. Si tomamos dos pelotas de médula de saúco y una la acercamos al cuerpo frotado y la otra al cuerpo frotador, las pelotas tomarán una carga determinada y de signo determinado según haya sido acercada al cuerpo frotado o al frotador (fig. 19). Lo cierto es que des-

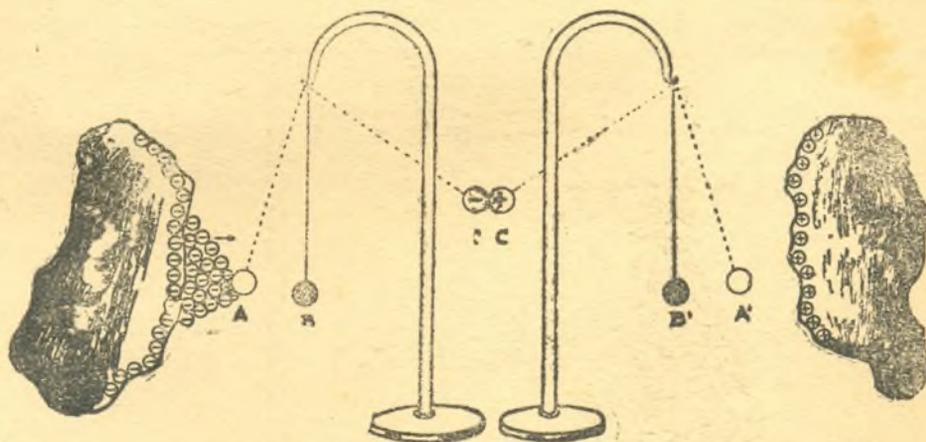


Fig. 19

- 1a. Posición. — Se acercan las pelotitas de médula de saúco hacia cada uno de los cuerpos cargados (A y A').
- 2a. Posición. — Se las dejan en la posición de reposo (B y B').
- 3a. Posición. — Por estar cargadas de signo contrario se atraen solas a la posición (C y C).

pués de realizado lo que acabamos de decir y tomando las dos pelotas de médula y acercándolas, notaremos que se produce una atracción, lo que nos hace pensar que se han cargado con cargas de signo contrario.

Vimos que el cuerpo frotado se había cargado negativamente, pero no todos sus electrones provenían de su cuerpo, sino que algunos los había tomado del cuerpo frotador. Esto nos dice que si el cuerpo frotador ha perdido electrones tendrá en mayor proporción protones, es decir, carga positiva, esto es, se ha cargado positivamente. De manera que al acercarse la pelota de médula de saúco a dicho cuerpo éste ha tomado electrones de la pelota de médula haciendo a su vez que ésta se cargue positivamente debido a la pérdida de electrones. Mientras que la otra pelota colocada frente al cuerpo frotador se ha cargado negativamente. Como ven, es simple comprender el proceso de las cargas eléctricas y por lo tanto, también, sacamos como conclusión que se puede transformar un cuerpo negativamente electrizado en un cuerpo de carga positiva si por algún medio cualquiera le sustraemos una cantidad de electrones a sus átomos. Estos fenómenos, como ya dijimos, se conocían desde la más remota antigüedad; tal es así, que la palabra "Electricidad" deriva de la palabra electron que en griego significa "Ambar" y cuyo nombre de electricidad fué bautizado por el filósofo Thales de Mileto al notar que, cuanto se frotaba el ámbar, éste atraía pedacitos de papel y otros objetos livianos. Estas observaciones se remontan a unos 600 años antes de J. C. El primero que intentó explicar científicamente estos fenómenos fué Benjamín Franklin, quien, además de dedicarse a las ciencias físicas, fué escritor, filósofo, diplomático, etc. Este sabio, nacido en los Estados Unidos de Norte América, fué quien dió la idea de la electricidad positiva y negativa.

Un experimento sencillo que pueden realizar nuestros lectores en sus casas, consiste en frotar una varilla de caucho endurecido, una pluma fuente, un peine, u otros objetos del mismo material y luego de haberlos frotado notarán que pueden levantar pedacitos de papel, el cabello, médula de saúco. De cualquier manera, los lectores podrán efectuar las experiencias utilizando los mismos métodos que los utilizados para atracción y repulsión de masas magnéticas.

Con respecto a las leyes que rigen esta fuerza de atracción y repulsión, es exactamente la misma empleada en el magnetismo, siendo su fórmula:

$$F = \frac{m \cdot m'}{d^2} \text{ dinas}$$

y la unidad en que se mide la fuerza de atracción o repulsión es también la "dina".

CORRIENTE ELECTRICA

Tomamos el caso general de cuerpos frotados. Dijimos que cuando los cuerpos de distinta naturaleza se frotaban, uno de ellos cargaba positivamente y el otro negativamente. Pero en realidad, nosotros ya sabemos que, debido al frotamiento, uno de los cuerpos pierde electrones (se carga positivamente) mientras que el otro tiene exceso de electrones (se carga negativamente).

Además, vimos que no era necesario frotar uno de éstos con otro no cargado para que el cuerpo no cargado adquiriera carga a su vez. Pues bien; ¿por dónde pasaron los electrones que se alojaron en el otro cuerpo? Todos se imaginan que habrán pasado por el aire, es decir, por el espacio que separaba al cuerpo cargado del no cargado. Pues bien; admitiendo este fenómeno, tenemos que aceptar también que se ha producido un pasaje de electrones de un cuerpo hacia otro y que podemos decir también que se ha establecido una **corriente de electrones** y, hablando más propiamente, una **corriente eléctrica** (fig. 20). Además, observen que estoy hablando del pasaje de electrones, pues hemos visto, al estudiar la constitución del átomo, que

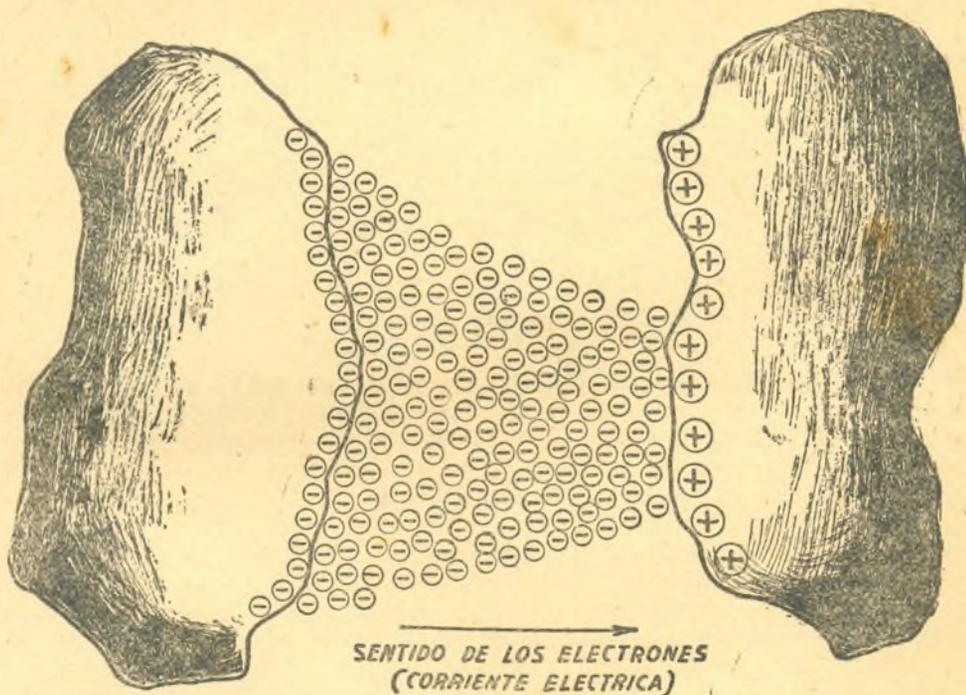


Fig. 20

era la parte inmóvil, y por lo tanto la corriente eléctrica se llama así por quedar establecida por los electrones hacia el cuerpo que posee menos, o sea siempre hacia el cuerpo cargado positivamente. Veremos más tarde que en la práctica siempre consideraremos que el sentido de la corriente eléctrica se dirige del positivo hacia el negativo, pero esto sólo se hace con fines prácticos. En realidad, se debe a que antiguamente, cuando no se conocía la constitución del átomo, se creía que la corriente eléctrica circulaba del po-

sitivo al negativo y muy recientemente se descubrió el error, y por esta razón se sigue empleando el mismo concepto, puesto que vemos que en realidad no sucede tal cosa. Sigamos desarrollando la idea anterior. Volvamos a los cuerpos frotados, en sus cargas negativas y positivas, unamos los dos cuerpos por medio de un cable de cobre, por ejemplo (fig. 21). ¿Qué sucederá? Pues bien, la falta de electrones del cuerpo cargado positivamente tratará de restablecer el equilibrio de sus átomos tomando electrones de cobre; pero ¿qué sucede si esto pasara? Pues, que el cable de cobre, por la pérdida de electrones, se ha tornado positivo, de manera que para restablecer sus átomos tiene que tomarlos del cuerpo cargado negativamente, pues

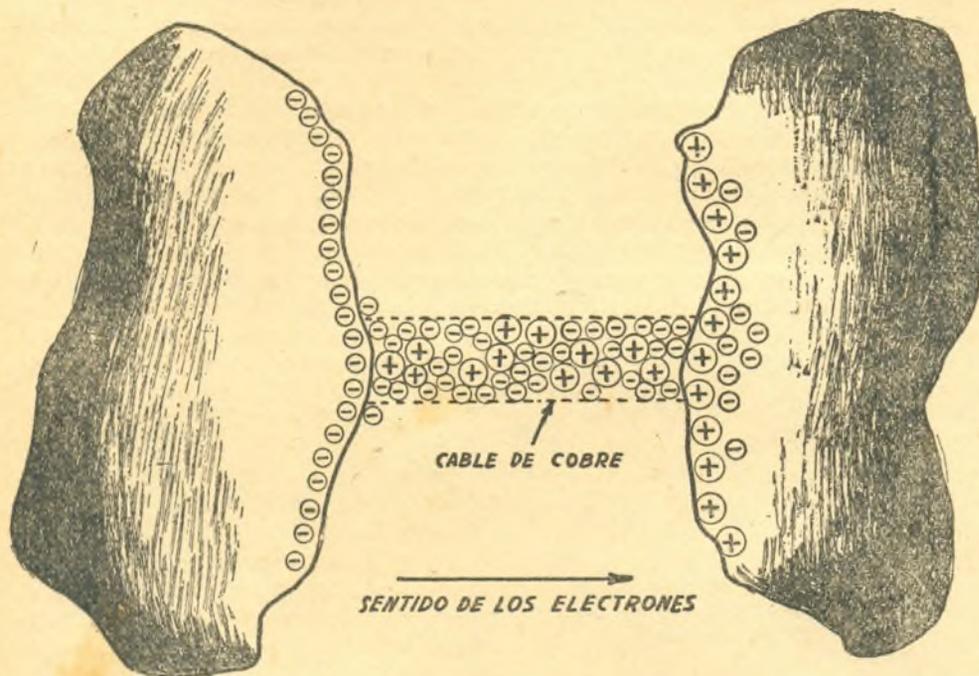


Fig. 21

los tiene con exceso. Por lo cual, los electrones que perdió durante el frotamiento el cuerpo que quedó cargado positivamente, perdió su carga gracias al cable de cobre que le entregó electrones, mientras que el cable de cobre se había cargado positivamente y ha restablecido sus átomos por haberlos obtenido del cuerpo cargado negativamente, es decir, que se ha establecido una corriente electrónica provocada, si se quiere, por el cuerpo positivo o sea que el sentido de la corriente es del negativamente cargado, al positivo. Comprendido esto, se ve que se trataba de una corriente eléctrica, pues si tuviéramos instrumentos bastante sensibles como para medir la corriente de electrones, de seguro que veríamos en ellos el efecto del pasaje de electrones de un cuerpo a otro. Sacamos, además, como conclusión, que del hecho que se produzcan movimientos de electrones éstos desarrollan una fuerza determinada que es la **Fuerza electrónica en movimiento** y que universalmente se la denomina con el nombre de **Fuerza Electro Motriz** y que se debe, precisamente, a la fuerza desarrollada por los electrones, de manera que, cuanta más cantidad de ellos existan en un cuerpo, mayor fuerza electromotriz podrá desarrollar al entregar electrones a otro cuerpo que posea muy pocos.

Observando cuidadosamente todas estas experiencias, pueden obtenerse también las bases y leyes de la electricidad. Por lo pronto, hablamos

de la fuerza electromotriz (f.e.m.) y ya sabemos que se produce cuando acercamos dos cuerpos electrizados y es mayor o menor esa fuerza electromotriz cuanto mayor sea la diferencia de sus cargas eléctricas. También hablamos de la corriente electrónica y dijimos que se establecía por el desplazamiento de los electrones de un cuerpo hacia otro de distinta carga. También vimos que se establecía una corriente electrónica cuando acercábamos dos cuerpos electrizados o también si se establecía por medio de un cable.

Vimos también que se había aprovechado los electrones del cable para establecer el equilibrio entre los dos cuerpos electrizados. Pues bien: ¿qué sucede si en lugar de utilizar un cable de cobre usamos un cable de hierro? En apariencia no se nota absolutamente nada; pero, en realidad, el restablecimiento de electrones "podríamos decir", tarda más tiempo. En la tabla donde están los cuerpos simples ordenados por el número de electrones con sus símbolos y la composición del átomo correspondiente, veremos que al cobre le corresponden 29 electrones distribuidos en cuatro órbitas, mientras que el hierro tiene 26 electrones para 4 órbitas. Por lo cual, pueden darse cuenta que utilizando una masa de cable equivalente se tiene distinta cantidad de electrones. Si en lugar de utilizar el hierro usamos aluminio, tendríamos disponibles 13 electrones para 3 órbitas. Pero esta explicación no da, en realidad, una idea exacta de la calidad del material usado para el trasplante de electrones. Porque vemos que no todos los electrones se mueven en la misma órbita, si es que el átomo poseía más de una órbita. Por lo tanto, si el átomo tiene varias órbitas, algunas de esas serán interiores con respecto a las otras. Si las órbitas exteriores poseen, en relación con las de otro material, menos cantidad de electrones, aunque en el conjunto tenga mayor número, éste se comportará como una materia de pocos electrones. Por esta razón podrán ver que el oro y el mercurio tienen 79 y 80 electrones respectivamente para 6 órbitas cada uno, y sin embargo verán más tarde, cuando estudiemos resistencias eléctricas, que el cobre y el hierro tienen mayor "conductibilidad eléctrica" que el oro y el mercurio. He tratado de explicar esta característica de la materia, porque podemos apreciar la diferencia entre cuerpos buenos para el desplazamiento de electrones (corriente eléctrica) y los que no lo son. Recordemos, pues, que hemos explicado los tres factores importantes que rigen las leyes que más tarde estudiaremos.

Fuerza Electromotriz, cuyos símbolos son F.E.M., o simplemente "E". Corriente Electrónica o intensidad de la corriente eléctrica, o "I", y la causa por la cual un material es mejor material "conductor" de los electrones que otro, que, como vimos, solamente se debe a su estructura atómica y que se llama "Resistencia" al paso electrónico o simplemente Resistencia Eléctrica o "R".

Nos hemos limitado en estas lecciones, a estudiar conceptos contenidos en lecciones breves en la forma, pero que requieren del lector, para su total asimilación, tanto o más tiempo de dedicación que otras que sucederán, más extensas, porque de su exacto concepto depende que el estudiante adquiera la base necesaria para dominar la Radiotécnica.

BIBLIOGRAFIA

- H. G. Grimm. — "Química y Estructura Atómica".
Robin Bach y E. J. Streubel. — "The Story of Electricity and Magnetism"
A. A. Guirardi. — "Radio Physics Course"
Jean Perrin. — "Les Atomes".



CONCEPTO DE LA ELECTRICIDAD.- LEY DE OHM SUS TRES FORMAS

INTRODUCCION

Vimos al tratar sobre electrones que éstos podían desplazarse de un cuerpo a otro, ya sea por un medio conductor, ya por el espacio. Podemos imaginar también que ese movimiento desarrolla una energía determinada que se puede comprobar experimentalmente. Tenemos como ejemplo clásico las válvulas de radio que se calientan en grado sumo, y este fenómeno se debe sencillamente a la gran cantidad de electrones que las atraviesan. Hay algunos tipos de válvulas de transmisión de gran potencia que necesitan para su regular trabajo ser refrigeradas constantemente por agua, al extremo de que si ésta faltara un solo instante, la válvula se inutilizaría. De aquí se deduce que los electrones en su movimiento desarrollan una determinada energía, que en este caso se transforma en calor. Recordemos que la electricidad es, en esencia, una corriente de electrones. Por lo que acabamos de decir se ve que conocemos la electricidad por sus manifestaciones, o dicho en otras palabras, por los fenómenos que ésta origina, y el estudio de estos fenómenos ha permitido enunciar las leyes a que obedecen.

Puesto que la electricidad se manifiesta en forma de energía, ésta puede clasificarse así:

Formas de la Energía Eléctrica	}	Electricidad transformada en energía Mecánica (Motor).
		” ” ” ” Calorífica (Calentador, estufa, etc.).
		” ” ” ” Lumínica (Lámparas eléctricas).
		” ” ” ” Química (En galvanotecnica; o viceversa, acumulador,, pilas, etc.).
		” ” ” ” Eléctrica (Generador, convertidor)
		” ” ” ” Magnética (Electroimán).
		” ” ” ” Radiante (Transmisores, radiotelefonía; Rayos X, etc.).

En la figura 22 ilustramos gráficamente este cuadro.

Por lo que vemos, todos estos fenómenos son consecuencia de la **Energía Eléctrica**, que podríamos llamar también Potencia Eléctrica, si ésta es capaz de desarrollar trabajos.

Se puede demostrar que en cualquier circuito eléctrico, lo que en realidad produce todos los fenómenos es la Intensidad de la corriente eléctrica (corriente de electrones). Así como en el caso de una instalación de aguas corrientes, tenemos más agua, en un tiempo determinado, cuanto mayor sea la intensidad con que el agua salga de la canilla, así también en los circuitos eléctricos, cuanto más intensidad tenga la corriente, mayor será la energía eléctrica desarrollada. También debemos tener en cuenta que la corriente eléctrica no actúa por sí sola en los circuitos, porque ésta depende de ciertos factores muy importantes como ya veremos. Volvamos al ejemplo de

Formas de la Energía Eléctrica

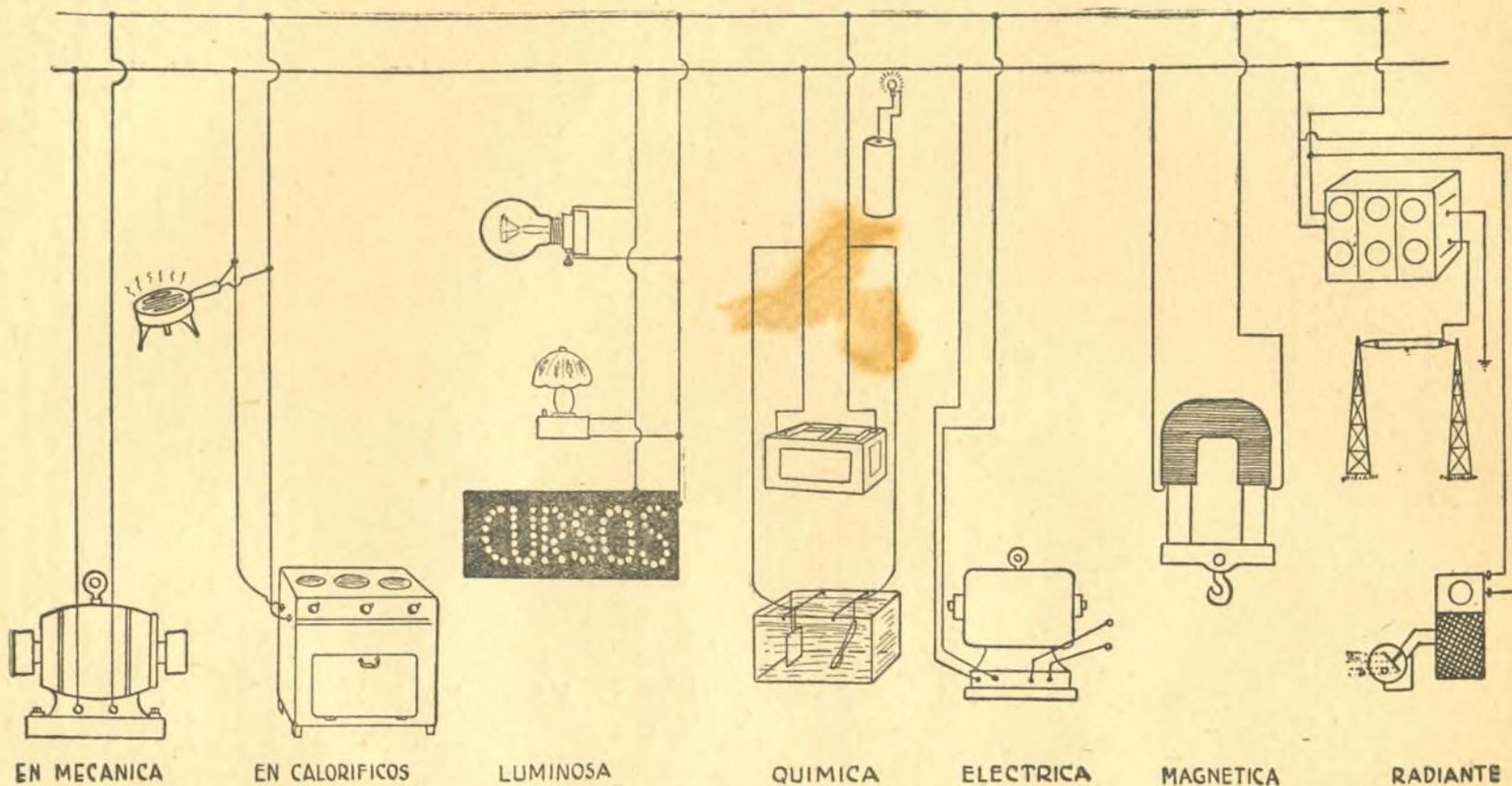


Fig. 22

una instalación de aguas corrientes. ¿Cuándo tendremos más o menos intensidad de corriente de agua para un mismo intervalo de tiempo? Si suponemos que el tanque que provee a las cañerías está colocado a una altura muy grande con respecto a las canillas, es claro que la corriente del agua será muy intensa; en cambio, si el tanque está colocado casi al nivel de las canillas, el agua tendrá una intensidad muy pequeña. De donde se deduce que la intensidad de la corriente será tanto mayor cuanto mayor sea la presión del agua, (cuanto mayor sea la diferencia de electrones).

A fin de recordar algunos conceptos que se comprueban todos los días en la vida diaria, diremos que los tanques que almacenan el agua que "alimenta" las cañerías, se colocan a una altura considerable con respecto a las canillas de desagüe, por la única razón de obtener una salida de agua abundante (intensidad), porque si colocamos las canillas a una altura mayor que el nivel del agua, no tendríamos ninguna salida de agua.

En los circuitos eléctricos sucede exactamente lo mismo. Existe una presión o fuerza eléctrica que recibe el nombre de **Fuerza Electro-Motriz** o también **Diferencia de Potencial** (F.E.M. o D.D.P.) que es la que da origen a la intensidad de la corriente eléctrica y también de la misma manera que en el ejemplo. Es decir, que cuanto mayor sea la Fuerza Electro-Motriz o Diferencia de Potencial, mayor será la intensidad de la corriente eléctrica. Es decir, que cuanto mayor cantidad de electrones libres haya en un cuerpo con respecto a otro, mayor será la diferencia de potencial: por lo tanto, la intensidad de la corriente electrónica será tanto más grande.

Y por último, tenemos un tercer factor cuyo papel en los circuitos eléctricos es importantísimo. Volvamos al ejemplo. Supongamos que tenemos el tanque de agua colocado sobre la azotea de la casa y una cañería de una pulgada. Entonces la intensidad del agua tendrá un cierto valor, porque tardará un determinado tiempo en llenar el balde. Si en lugar de una cañería de una pulgada colocamos una de dos pulgadas, la intensidad del agua será mucho mayor: en tal caso el balde se llenará en menos tiempo que en el otro caso. Si colocamos una cañería de media pulgada en lugar de la de dos o de la de una la intensidad del agua se reducirá porque es mucho menor que las anteriores y el balde tardará más tiempo en llenarse. De todo esto se desprende que la intensidad de la corriente del agua queda limitada por las medidas de las cañerías, es decir, que cuanto mayor sean las medidas de la cañería, tanto mayor será la intensidad del agua, o dicho de otra manera, la intensidad del agua será mayor cuanto menor sea la resistencia que encuentre el agua al pasar por las cañerías. En los circuitos eléctricos sucede lo mismo: cuanto más grande sean los diámetros de los "conductores" que llevan la corriente, mayor será ésta, porque será menor la resistencia que tendrá que vencer la corriente al pasar por los mismos.

LEY DE OHM

Aclarado el concepto de los factores que intervienen en los circuitos eléctricos, deduciremos la "ley" que rige a éstos, y la relación que existe entre la intensidad de la corriente, fuerza electromotriz o diferencia de potencial (presión) y la resistencia eléctrica.

Si la intensidad de la corriente aumenta cuando aumenta la fuerza electromotriz (presión) podremos decir que está relacionada de una manera directa.

En cambio, cuanto mayor sea la resistencia, menor será la intensidad de la corriente. Entonces podemos decir que la intensidad eléctrica está relacionada de una manera inversa con la resistencia.

También podríamos decir que la intensidad de la corriente será tanto mayor cuanto "mayor" sea la fuerza electromotriz y "menor" la resisten-

cia. Entonces podemos escribir la fórmula de la Ley de Ohm, de la siguiente manera:

$$I = \frac{E}{R} \quad (2) \text{ donde:}$$

I — representa la intensidad de la corriente.
 E — " " fuerza electro-motriz (F.e.m.).
 R — " " resistencia eléctrica.

UNIDADES ELECTRICAS

Para poder calcular los circuitos eléctricos en base a la fórmula de la Ley de Ohm es necesario establecer las unidades que para cada factor se han fijado.

Como bien sabemos, las unidades, como por ejemplo: la del sistema métrico decimal, en la cual el metro es la unidad, tienen sus múltiplos y submúltiplos que sirven para poder comparar cantidades mayores o menores que la unidad.

Si por ejemplo 1 metro tiene 100 centímetros: 0.4' de metro será 40 cms. En la misma forma, si tenemos 1000 metros podemos escribir 1 kilómetro, etc. Esto nos muestra la utilidad de los múltiplos y submúltiplos.

En la fórmula de Ohm, se ha tomado como Unidad de la intensidad eléctrica al Ampere. Este nombre "Ampere" se dió a la unidad de intensidad de la corriente, en honor a Ampere, genial físico y filósofo, que estudió por primera vez los fenómenos originados por la corriente eléctrica.

Entonces repetimos: la **Unidad de intensidad de la corriente eléctrica es el Ampere, que se abrevia Amp.**

Como unidad de la fuerza electromotriz se ha fijado el **Volt**, en honor a Volta, por haber éste descubierto la primera fuente de fuerza electromotriz que fué la primitiva pila eléctrica.

Repetimos: **Unidad de fuerza electro-motriz o diferencia de potencial es el Volt, que se abrevia V.**

Y como unidad de resistencia eléctrica se ha fijado el **Ohm** por haber el genial físico Ohm encontrado la relación entre la intensidad de la corriente, la fuerza electromotriz y la resistencia en los circuitos eléctricos. Los lectores verán luego la importancia de dicha ley porque la misma se aplica a la corriente alternada y al electromagnetismo.

Repetimos: **Unidad de resistencia eléctrica: el Ohm, que se abrevia Ω .**

Antes de ver cómo se emplea la fórmula de Ohm, daremos a conocer los múltiplos y submúltiplos de las tres unidades enunciadas.

CUADRO I			
Unidades de la Corriente Eléctrica	Unidad Ampere (Amp.)	Múltiplo	Kilo-Ampere (K.A.)
		Submúltiplo	Miliampere (m.A.) Micro-ampere (μ .A.)
	Unidad Volt (V)	Múltiplo	Kilovolt (K.V.)
		Submúltiplo	Milivolt (m.V.) Microvolt (μ .V.)
	Unidad Ohm (Ω)	Múltiplo	Megohm (M. Ω) Kilo-Ohm (K. Ω)
		Submúltiplo	Miliohm (m. Ω) Microhm (μ . Ω)

Según podemos apreciar en el Cuadro 1, tenemos como múltiplo del Ampere (Amp.) al Kilo-ampere, que vale 1.000 Amperes y se abrevia K.A. y como submúltiplos al miliampere que se abrevia M.A., que es la milésima parte de un Ampere (0.001 Amp.) y el microampere o μ .A. (μ es una letra griega que se lee "mu" y se emplea aquí para significar una millonésima parte) o sea en este caso, un millonésimo de Ampere (0,000001 Amp.), o también un microampere es el milésimo de miliampere o sea 0,001 M.A.

El múltiplo del Volt (V.) es el Kilovolt o sea 1.000 Volt y se abrevia K. V.; los submúltiplos son el milivolt o sea la milésima parte de un Volt (0,001 V.) y el microvolt que se abrevia μ V. que es la millonésima parte de un Volt (0,000001 V.).

Como múltiplo del Ohm (Ω) (que se abrevia con letra griega Ω que se lee "omega"), se tiene el Kilo-Ohm o sea 1.000 Ohm y se abrevia K. Ω . y el Megohm, o sea un millón de Ohms y se abrevia M. Ω . Como submúltiplo se puede citar el miliohm y el micro-ohm que no se emplean.

Usaremos cuando representemos varias caídas de voltajes, o varias intensidades de corrientes o varias resistencias, la siguiente notación:

E — Fuerza electromotriz.

e — Cuando nos refiramos a caídas de voltaje tales que sea el total.

$e_1, e_2, e_3, e_4 \dots$ etc., cuando se trata de caída de voltajes parciales.

I — intensidad total de la corriente.

$i_1, i_2, i_3, i_4 \dots$ etc., cuando nos refiramos a intensidades de corrientes parciales.

10a. LECCION

APLICACION DE LA LEY DE OHM

CALCULO DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Si tenemos el caso de la fig. 23, donde la fuerza electromotriz del circuito (*) puede ser un conjunto de pilas, un generador, acumuladores, etc., y siendo la resistencia intercalada de 750 Ohms y representada por R, se trata de calcular la intensidad de la corriente en el circuito. Si se aplica la fórmula de:

$$\text{Ohm: } I = \frac{E}{R}, \text{ sustituyendo los valores, } I = \frac{220}{750} = 0,293 \text{ Amp. (o sea, se di}$$

(*) Una fuente de fuerza electromotriz es un elemento tal que tiene las dos partes principales de cuerpos, uno con un exceso de electrones y el otro con escasez de electrones. Esta podría ser una pila de timbre, tenemos en él dos bornas, una marcada (+) polo positivo (faltan electrones); otra (—) polo negativo (exceso de electrones) y producidos por una reacción química en su interior de manera tal que si se conectan las dos bornas por medio de un alambre de metal de cualquier naturaleza se cerrará el circuito eléctrico (electrónico) haciendo que los electrones que faltan en el polo positivo sean entregados por el negativo por intermedio del alambre que se ha puesto en contacto con ambos polos; esto se notará en forma de calor en el alambre.

Los generadores, tales como los que alimentan la red de canalización, son las fuentes más comunes de fuerza electromotriz. Los fenómenos, que son los mismos que en el tiempo anterior, son producidos por electroimanes colocados en el interior de la máquina y que luego estudiaremos.

vide el valor de E por el de R); se podrá observar que la intensidad de la corriente en dicho circuito es de 0,293 Amperes cuando la fuerza electromotriz es de 220 Volts y la resistencia de 750 Ohms.

Así también, en otro caso, si se tiene un circuito cuya resistencia es de 83,3 Ohms y se necesita para su alojamiento una intensidad de corriente eléctrica que queremos calcular, siendo el voltaje en sus extremos de 25 Volts, podríamos, aplicando siempre la misma fórmula, calcular cuál es esta intensidad de corriente.

Si $E = 25 \text{ V.}$ y $R. = 83,3 \text{ Ohms } (\Omega)$ Fig. 24, tendremos:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{25}{83,3} = 0,3 \text{ Amp. aproximadamente.}$$

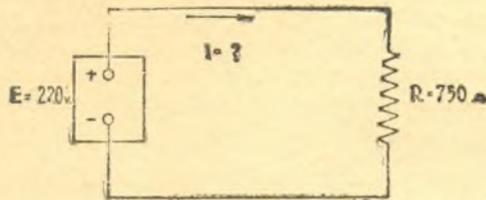


Fig. 23

OTRO EJEMPLO. — ¿Qué intensidad de la corriente podrá atravesar por una resistencia de calentador de 55Ω y que está conectado a la línea de 220 V. de la red de canalización? (F.E.M.).

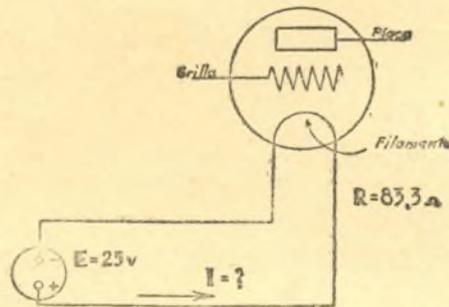


Fig. 24

Si: $R = 55 \Omega$ y $E = 220 \text{ Volt};$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{55} = 4 \text{ Amp.}$$

CALCULO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA O RESISTENCIA OHMICA

Pero no solamente la fórmula de la ley de Ohm sirve para calcular intensidades de corriente, sino como ya hemos dicho, dado que relaciona los tres factores que intervienen en los circuitos eléctricos, sirve también para calcular los otros dos factores R y E. Esto quiere decir que basta conocer dos de los tres factores para calcular el tercero. La fórmula que da el valor de R o sea la resistencia óhmica, es:

$$R = \frac{E}{I} \quad (3)$$

que, como se puede ver, la Ley de Ohm se aplica al cálculo de las resistencias de los circuitos.

Analizando la fórmula (3) vemos claramente que la resistencia R del circuito será tanto menor cuanto mayor sea la intensidad de la corriente, como podemos verificar: Si la fuerza electromotriz del circuito (fig. 25) $E = 50$ Volts aplicada a las bornas de éste y la intensidad de la corriente 0,5 Amperes, entonces la resistencia que habrá en el circuito tiene que ser:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{50}{0,5} = 100 \text{ Ohms}$$

pero, si en lugar de 100 Ohms fueran 80 Ohms, por ejemplo, la intensidad no podría ser 0,5 Amperes, sino:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{50}{80} = 0,625 \text{ Amp.}$$

o sea, mayor debido a que la resistencia del circuito la hemos disminuído.

Otro ejemplo lo tendríamos (fig. 26) si quisiéramos averiguar la resistencia de un filamento de una válvula de radiotelefonía que necesita para su encendido una pila que suministre 2 Volts y la intensidad de la corriente es de 0,06 Amperes, entonces aplicando:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{2}{0,06} = 33,3 \Omega \text{ aproximadamente.}$$

OTRO EJEMPLO. — Supongamos que queremos averiguar la resistencia que posee un campo de un altoparlante electrodinámico, o mejor dicho, el electroimán del mismo. Si el voltaje aplicado es de unos 100 Volts y la intensidad que lo atraviesa para producir el campo magnético necesario es de 0,05 Amp. (50 M.A.), se tendrá:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{100}{0,05} = 2000 \Omega$$

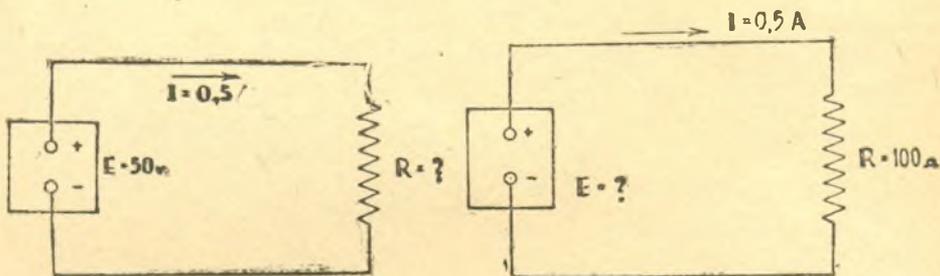


Fig. 25

Fig. 25 bis

CALCULO DE LA CAIDA DE VOLTAJE

La Ley de Ohm puede adoptar una tercera forma que se escribe de la siguiente manera:

$$E = I \times R. \quad (4)$$

que toma el nombre particular de **Caída de Tensión** o **Caída de Potencial**, o en ciertos casos especiales puede significar **Pérdida de Voltaje** como más tarde veremos.

Podemos explicar de una manera sencilla el significado.

Si tenemos un circuito en el cual son conocidos los valores de la intensidad de la corriente y la resistencia del circuito, podemos calcular el valor "numérico" de la fuerza electromotriz, porque siendo fijo el valor de la resistencia del circuito corresponderá solamente un solo valor de la fuerza electromotriz, para una intensidad de la corriente dada. Por eso podemos escribir $E = I \times R$.

Si tenemos en el circuito (fig. 25 bis) calculados 100 Ohms para una

intensidad de 0,5 Amperes, sabemos que el valor "numérico" de la fuerza electromotriz será:

$$E = I \times R = 0,5 \times 100 = 50 \text{ Volts.}$$

que es lo que efectivamente habíamos aplicado.

Pero, además, deduciremos entonces que solamente puede haber corriente en el circuito cuando exista una diferencia de potencial o cuando se aplica al circuito una fuerza electromotriz.

Cuando una determinada intensidad de corriente eléctrica atraviesa una resistencia, se produce forzosamente una caída de potencial (presión) entre los extremos de dicha resistencia para poder hacer pasar la corriente a través de ella. Esa caída de potencial es igual al producto de la intensidad de la corriente multiplicado por el valor de la resistencia ($I \times R$). En la práctica, cuando una determinada fuente de fuerza electromotriz se aplica a un circuito conteniendo resistencias (fig. 27), la parte de "fuerza electromotriz" usada para enviar la corriente a través de cada resistencia, se llama Caída de Voltaje o Caída de Potencial o Caída de Tensión. Estas expresiones son muy utilizadas, pudiendo usarse cualquiera de las tres.

Aclaremos estos conceptos con un ejemplo práctico. La fig. 27 muestra un circuito en el cual la resistencia total del circuito R la formamos por dos, r_1 y r_2 de manera que si $r_1 = 80$ Ohms, y $r_2 = 70$ Ohms;

$$R = r_1 + r_2 = 80 + 70 = 150 \text{ Ohms.}$$

Podemos sumarlos porque la corriente que los atraviesa tendrá que pasar primero por una y luego por otra, de manera que tanto r_1 y r_2 se opondrán a que pase la corriente y de la acción conjunta resulta que el esfuerzo de los dos se suman. Por eso escribimos: $R = r_1 + r_2$, siendo R la resistencia total.

Ahora bien: si quisiéramos calcular cuál es la intensidad de la corriente cuando la fuerza electromotriz $E = 100$ Volts.

Si $R = r_1 + r_2$ podemos escribir:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E}{r_1 + r_2} = \frac{100}{80 + 70} = \frac{100}{150} = 0,666 \text{ Amp.}$$

o sea que la intensidad es $I = 0,666$ Amperes por lo tanto atravesará r_1 como r_2 .

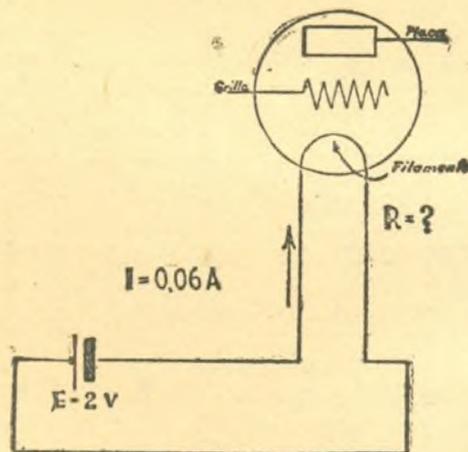


Fig. 26

Calculemos el esfuerzo (presión) que se ha producido en r_1 para que pase la corriente. Se comprenderá que se trata de averiguar cuál es la caída de voltaje que se produce a través de r_1 o sea entre las puntas A y B.

Como dijimos ya que la caída de voltaje era igual al producto de la intensidad de la corriente multiplicado por la resistencia, podemos escribir, si llamamos e_1 la caída de voltaje sobre r_1 .

$$e_1 = I \times r_1 = 0,666 \times 80 = 53,28 \text{ V.}$$

o sea que entre los extremos A y B de la resistencia r_1 se produce una caída de voltaje $e_1 = 53,28 \text{ V.}$

Como podemos apreciar la unidad que empleamos para la caída de potencial es el Volt, porque se trata de "presión" eléctrica sobre los extremos de una resistencia.

Calculemos ahora la caída de potencial (caída de voltaje) que se produce a través de r_2 . Repitiendo lo anterior tenemos:

$$e_2 = I \times r_2 = 0,666 \times 70 = 46,62 \text{ V.}$$

Como podemos apreciar, la unidad que empleamos para la caída de voltaje menor, en un mismo circuito, en el cual una resistencia está a continuación de otra.

Calculamos $e_1 = 53,28 \text{ V.}$ de la caída de tensión de r_1 : y $e_2 = 46,62$ para r_2 . Pues bien: ¿Cuál sería la caída de voltaje total o sea la de todo el circuito?

Si r_1 y r_2 constituyen las resistencias del circuito y R es la suma de las dos, siendo R la resistencia total del circuito, es lógico que también las caídas de voltaje e_1 y e_2 se sumen de manera que, si llamamos "e" a la caída de voltaje total, tendremos:

$$e = e_1 + e_2 = 53,28 + 46,62 = 99,9 \text{ Volt,}$$

o sea prácticamente 100 V.

Como vemos, $e = 100 \text{ v.}$ que tiene como valor numérico el mismo que tiene E o sea la fuerza electromotriz del circuito.

Como conclusión sacamos: que la fuerza electromotriz del circuito se transformó íntegramente en caída de voltaje, o caída de potencial para poder la corriente atravesar la resistencia del circuito.

Podemos aclarar la idea de la diferencia que existe entre Fuerza electromotriz y Caída de Voltaje, diciendo que la fuerza electromotriz de un circuito genera en un circuito cerrado, una corriente y que dicha corriente para poder atravesar las resistencias del circuito producen caídas de voltaje a través de ellas. O también podemos decir que, la F.E.M. produce una intensidad de corriente eléctrica y la intensidad de la corriente produce caída de voltaje o caída de potencial.

De manera tal que si desconocemos el valor de la fuerza electromotriz aplicada a un circuito, y en cambio, conocemos el valor de la intensidad y de las resistencias del mismo, podemos conocer el valor numérico de la fuerza electromotriz. Es decir, si la intensidad de la corriente del circuito es por ejemplo de $I = 2 \text{ Amperes}$ y la suma de las resistencias 700 Ohms, la caída de voltaje total del circuito será:

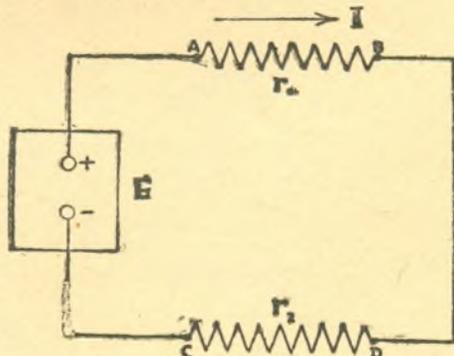


Fig. 27

Fig. 27

$$e = I \times R = 2 \times 700 = 1.400 \text{ V.}$$

y, por lo tanto, como la fuerza electromotriz en valor numérico es igual a la caída de voltaje total, podemos escribir $E = e$: entonces la fuerza electromotriz es $E = 1.400 \text{ Volt.}$

Conductores y Aisladores

La aplicación de la fórmula de Ohm para el cálculo de las caídas de voltaje la encontramos en la caída de voltaje en los conductores. Un ejemplo sería el de una resistencia r_1 que podría ser la resistencia de un receptor de radio o de una instalación eléctrica de cualquier índole, colocada a una distancia muy grande de la fuente de fuerza electromotriz, por ejemplo, a 3 kilómetros. Este caso podría darse en alguna localidad del interior donde solamente existen líneas eléctricas en el pueblo faltando éstas en los alrededores. Supongamos que se construye una línea ex profeso para poder utilizar, pongamos el caso, un receptor de radio. Ya sabemos que los cables de que está hecha la instalación ofrece cierta resistencia al pesaje de la resistencia, de manera que si ésta tiene que trasladarse a mucha distancia tendrá que perder cierta parte de energía. Esto quiere decir (fig. 28) que si llamamos r_2 a la resistencia óhmica de la línea, porque lo acabamos de decir, se producirá una caída de tensión que tendrá por valor $e_2 = I \times r_2$ siendo e_2 el valor que puede tomar el producto de la intensidad por la resistencia óhmica de los conductores.

Antes de proseguir, y ya que estamos tratando el tema de los conductores, procuremos definirlos, así como también el concepto de los aisladores. En realidad, no existe ningún conductor perfecto ni tampoco un aislador perfecto; sólo podemos hablar de la existencia de buenos conductores o malos conductores, teniendo sus límites en muy buenos conductores o muy malos. Entiéndese por conductor eléctrico todo material que permite el fácil pasaje de la corriente eléctrica, y recibe el nombre de mal conductor, todo material que se opone al pasaje de la corriente. Esto da una idea clara del significado de buen conductor, mal conductor, buen aislador y mal aislador. Para aclarar este concepto de los conductores, damos la tabla I en la cual están los valores de resistencia "Específica" de los metales y metaloides más usados. Para que estos valores puedan ser comparados, se ha tomado de cada uno de estos materiales un hilo de un metro de largo y de una sección de 1 mm^2 . Como es natural, una vez hechas las mediciones de sus resistencias, se obtuvieron valores diferentes de resistencia óhmica.

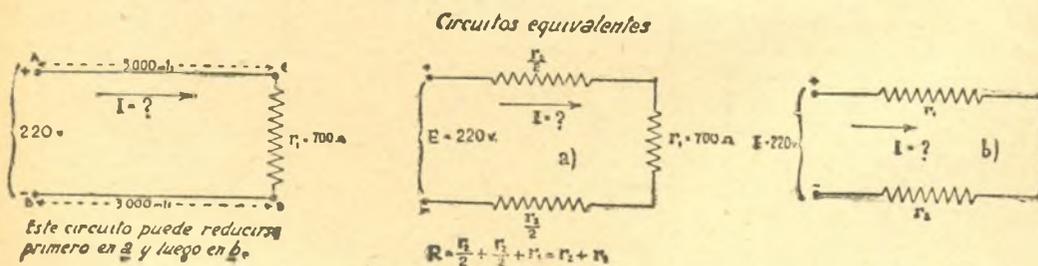


Fig. 28

A estos valores se les designó con el nombre de **Resistencia Específica** y se fijó también una letra griega que se escribe ρ y se lee ro. Los valores de resistencia específica (ρ) para los materiales utilizados como conductores están especificados en la tabla I, tomados a 15° de temperatura.

y la caída de tensión sobre la resistencia r_1 será:

$$e_1 = I \times r_1 = 0,272 \times 700 = 190,6 \text{ Volt.}$$

De donde vemos que la caída de voltaje total se ha distribuido de tal manera que la parte de ella se pierde en la línea, mientras que la otra parte se aprovecha para el funcionamiento del receptor que "funcionará" con 190,6 Volt.

De aquí puede verse que si el aparato de radio estuviese enchufado en la toma de la línea, o sea en los puntos A y B, trabajaría con 220 Volt y si está enchufado en el extremo de la línea de 3.000 m. (C y D) será de 190,6 Volt y es posible que la radio no funcionase. De aquí la importancia del cálculo de los conductores. Insistiremos con otro ejemplo más completo (ver fig. 29). Tenemos una línea conectada a un motor cuya resistencia $r_1 = 85$ Ohms.

La fuerza electromotriz $E = 220 \text{ V.}$ la longitud total de las líneas es de 200 metros (ida y vuelta) y la sección del cable es de 3 mm^2 de cobre. Por una parte, nos interesa conocer la caída de voltaje sobre las bornas del motor, y por la otra, ver si la caída de voltaje en la línea no es muy grande, pues existiría el peligro de que los cables se calienten y no entreguen al motor la energía necesaria. La resistencia de la línea se calculará directamente, siempre que se conozca el material de que está constituida, a fin de buscar su resistencia específica en la tabla I. Se aplica la siguiente fórmula:

$$R_a = \frac{\rho \times l}{s} \quad (5)$$

R_a — es la resistencia resultante del alambre.

ρ — es el coeficiente de resistividad. (Cada sustancia tiene un valor particular, ver Tabla I).

l — es la longitud del conductor en metros.

s — es la sección del conductor en mms. cuadrados (1).

Aplicando la fórmula anterior 5 para nuestro ejemplo, como $\rho = 0,018$ para el conductor es de cobre, la longitud $l = 200 \text{ m.}$ y la sección $s = 3 \text{ mm}^2$. tendremos:

$$R_a = \frac{\rho \times l}{s} = \frac{0,018 \times 200}{3} = 1,2 \text{ o sea } R_a = 1,2 \Omega$$

luego la resistencia total del circuito es:

$$R = R_a + r_1 = 1,2 + 85 = 86,2 \Omega$$

La intensidad del circuito es:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{86,2} = 2,55 \text{ Amp. aproximadamente.}$$

(1) Se entiende por sección, la superficie de la cara que presenta el conductor cuando se lo corta perpendicularmente a su eje; para conductores redondos se puede calcular, si se conoce el diámetro del mismo, aplicando la fórmula

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4}, \text{ donde "s"} \text{ es la superficie resultante, } \pi \text{ una constante que vale } 3,1416,$$

d^2 el diámetro del conductor en mm. multiplicado por sí mismo, o sea $d \times d$. Ejemplo: Sea un conductor redondo de 3 mm. de diámetro, ¿qué sección tendrá?

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times d \times d}{4} = \frac{3,14 \times 3 \times 3}{4} = \frac{28,26}{4} = 7,065 \text{ mm}^2$$

de sección. Si la sección del conductor, en lugar de ser redonda, fuese cuadrada o rectangular, la sección se obtendría de multiplicar lado por lado: ($S = L \times L$).

Ejemplo: Sea un conductor que tenga un lado de 3 mm. y el otro de 5 mm. ¿Qué sección tendrá?

$$S = L \times L = 3 \times 5 = 15 \text{ mm}^2$$

Otro: ¿Cuál será la sección de un conductor que tenga 4 mm. por lado?

$$S = L \times L = 4 \times 4 = 16 \text{ mm}^2$$

Las caídas de voltaje en la línea y sobre las bornas del motor son:
 Caída de voltaje de la línea:

$$e^a = I \times R_a = 2,55 \times 1,2 = 3,06 \text{ Volt.}$$

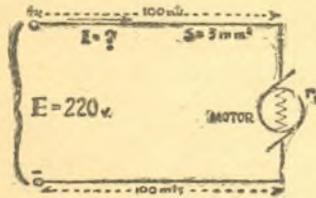


Fig. 29

Caída de voltaje del motor:

$$e^a = I \times r_1 = 2,55 \times 85 = 217 \text{ V.}$$

Por lo cual se ve que se pierden por caída de voltaje en la línea unos 3 Volt. Esta pérdida recibe el nombre de **Pérdida de Voltaje**, puesto que no actúan sobre el motor, sino solamente aplicados a los extremos de la línea. Esto nos demuestra de una manera concluyente que cuando se trata de enviar energía eléctrica, los conductores deben ofrecer la menor resistencia óhmica posible, y esto se consigue empleando conductores de una resistencia específica lo más chica posible, así como también de una longitud muy corta y de gran diámetro. Para facilitar cálculos posteriores, damos las tablas II y III.

En la fig. 28 vemos los circuitos (a) y (b) que son dos reducciones del primero. Dijimos que r_2 era la resistencia total de la línea (ida y vuelta), de nera que parte de una se pierde en la línea, mientras que la otra parte se $\frac{r_2}{2}$ y para el conductor de vuelta será la otra mitad, porque suponemos que 2

los dos son de idénticas dimensiones, o sea también $\frac{r_2}{2}$

En la fig. 28 (a), si ponemos en lugar de los 3.000 mts. de conductor su equivalente de resistencias, tanto para la ida como para la vuelta, tendremos lo que queda representado en (a), o sea que el circuito tiene en realidad tres resistencias en serie, a saber: una de valor $\frac{r_2}{2}$ otra de valor r_1 y

otra también de valor $\frac{r_2}{2}$ y como están en serie su acción de oponerse a la corriente de suma, podemos escribir que la resistencia total de la línea es:

$$R = \frac{r_2}{2} + r_1 + \frac{r_2}{2} = r_2 + r_1$$

Es fácil darse cuenta que si sumamos dos mitades: $\frac{r_2}{2} + \frac{r_2}{2}$

tendremos un entero, o sea r_2 ; por eso escribimos $R = r_2 + r_1$, que es lo que está representado en la fig. 28 b que queda reducido el circuito a dos resistencias, pues una representa la resistencia total de la línea, o sea:

$$\frac{r_2}{2} + \frac{r_2}{2} = r_2$$

y la otra resistencia del aparato de radio, o sea r_1 . De esta manera se consigue simplificar el circuito y por lo tanto los cálculos.

CONEXION DE RESISTENCIAS EN SERIE Y APLICACIONES DE CAIDAS DE VOLTAJE

De lo dicho anteriormente se desprende que es posible que en un mismo circuito existan varias resistencias conectadas unas después de otras. Es lógico que, cuanto mayor sea el número de resistencias conectadas en el circuito en serie, tanto menos intensidad de corriente habrá. Veamos la figura 30. Tenemos conectadas cinco resistencias en serie:

$$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5$$

cuyos valores están en la misma figura.

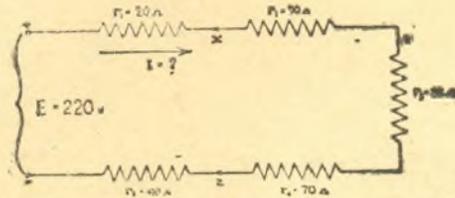


Fig. 30

TABLA II

ALAMBRES DE COBRE DE SECCION REDONDA

Diámetro en mm.	Sección en mm ² .	Peso en gramos por metro	Longitud en metros por kilogramo	Resistencia en ohms por kilogramo	Resistencia en ohms por kilómetro
0.05	0.00196	0.01747	57.224	8.136.7	465.600
0.06	0.00283	0.02516	39.739	5.650.4	224.500
0.07	0.00385	0.03425	29.196	4.151.4	121.200
0.08	0.00503	0.04473	22.353	3.178.4	71.100
0.09	0.00636	0.05661	17.662	2.511.3	44.300
0.10	0.00785	0.06990	14.306	2.034.2	29.100
0.11	0.0095	0.08458	11.823	1.681.1	19.800
0.12	0.0113	0.10066	9.934	1.412.6	14.000
0.14	0.0154	0.13760	7.299	1.037.8	7.570
0.15	0.0177	0.15728	6.358	904.0	5.740
0.16	0.0201	0.17895	5.588	794.6	4.450
0.18	0.0255	0.22648	4.415	627.8	2.770
0.20	0.0314	0.27960	3.576	508.5	1.818.7
0.23	0.0416	0.36977	2.704	384.5	1.040
0.25	0.0491	0.43688	2.289	325.4	745
0.28	0.0616	0.54802	1.824	259.4	472
0.30	0.0707	0.62910	1.589	225.5	359
0.32	0.0804	0.71578	1.397	198.6	278
0.35	0.0962	0.85628	1.167	166	193
0.38	0.1134	1.0094	990.7	140.8	139
0.40	0.1257	1.1184	894.1	127.1	114
0.45	0.1591	1.4155	706.5	100.4	71
0.50	0.1964	1.7470	572.2	81.3	46.5
0.55	0.2376	2.1146	421.2	67.2	30.8
0.60	0.2827	2.5160	397.4	56.5	22.4
0.65	0.3318	2.9530	338.6	48.1	16.3
0.70	0.3848	3.4247	292	41.5	12.1
0.75	0.4418	3.9320	254.5	36.1	9.14
0.80	0.5026	4.4731	223.5	31.7	7.11
0.85	0.5675	5.0508	198	28.1	5.58
0.90	0.6362	5.6622	176	25.1	4.43
0.95	0.7088	6.3083	158	22.5	3.57
1	0.7854	6.9901	143.1	20.3	2.91

Si la intensidad de la corriente parte del polo "positivo" de la fuente de fuerza electromotriz y se dirige hacia el negativo, tendrá que atravesar forzosamente las cinco resistencias. Esto implica, para la intensidad de la corriente, una pérdida en la intensidad, tanto mayor cuanto mayor sean las resistencias, intercaladas en el circuito.

Como conclusión sacamos que la intensidad de la corriente en un circuito serie depende de los valores de las resistencias intercaladas, y como resultante tenemos que: la intensidad de la corriente en un circuito serie es la misma en cualquier punto del circuito.

Es decir que, si pudiéramos medir la intensidad en los puntos X, Z y K obtendríamos valores idénticos.

El instrumento de que nos valdríamos para medir la intensidad de la corriente se llama **Amperímetro** (más tarde veremos cómo funciona) y se conecta en serie con el circuito.

Si queremos entonces calcular la intensidad del circuito, tenemos que conocer la resistencia total o sea la suma de todas las resistencias del circuito.

$$\text{Luego } R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$$

$$R = 20 + 50 + 80 + 70 + 100 = 320 \text{ Ohms.}$$

es decir que, aplicando la fórmula de la Ley de Ohm, tenemos: si $E=220$ Volts

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{320} = 0,688 \text{ Amp.}$$

Tanto en los puntos X, Z o K, la intensidad I vale 0,688 Amp.

Si tuviésemos que calcular las caídas de voltaje que se producen sobre cada resistencia podríamos proceder de la siguiente manera:

La caída de voltaje sobre r_1 es $e_1 = I \times r_1 = 0,688 \times 20 = 13,75 \text{ V.}$

La caída de voltaje sobre r_2 es $e_2 = I \times r_2 = 0,688 \times 50 = 34,2 \text{ V.}$

La caída de voltaje sobre r_3 es $e_3 = I \times r_3 = 0,688 \times 80 = 55,0 \text{ V.}$

La caída de voltaje sobre r_4 es $e_4 = I \times r_4 = 0,688 \times 70 = 48,2 \text{ V.}$

La caída de voltaje sobre r_5 es $e_5 = I \times r_5 = 0,688 \times 100 = 68,8 \text{ V.}$

La caída de voltaje total "e" es igual a la suma de las caídas de voltaje parciales, puesto que las resistencias están en serie.

$$e = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5$$

$$e = 13,75 + 34,2 + 55 + 48,2 + 68,8 = 219,95 \text{ V.}$$

Por lo cual vemos que la suma de las caídas de voltaje o sea la caída de voltaje total es igual en valor numérico a la fuerza electromotriz E, que es igual a 220 V. (la pequeña diferencia se debe a que se desprecian los decimales).

En este ejemplo podría presentarse el caso de que, después de haber efectuado todas las operaciones, perdiéramos los valores de las resistencias (procuraremos imaginarnos esto).

De manera que solamente conocemos la intensidad de la corriente I, la fuerza electromotriz E, las caídas de tensión e_1, e_2, e_3, e_4 y e_5 .

Se plantea entonces el problema de ¿cómo podríamos averiguar los valores de las resistencias cuyos valores nos faltan? Fácilmente:

Si por ejemplo por la resistencia r_1 pasa una intensidad $I = 0,688 \text{ Amp.}$ y la caída de voltaje que produce dicha corriente sobre la resistencia r_1 es 13,75 V.

Aplicando la fórmula de Ohm para resistencia $R = \frac{E}{I}$ podríamos escri-

bir en este caso

$$r_1 = \frac{e_1}{I} = \frac{13,75}{0,688} = 20 \text{ Ohms.}$$

$$\begin{aligned} \text{lo mismo podríamos repetir para } r_2 &= \frac{e_2}{I} = \frac{34,2}{0,688} = 50 \Omega \\ \text{'' '' '' '' '' } r_3 &= \frac{e_3}{I} = \frac{55}{0,688} = 80 \Omega \\ \text{'' '' '' '' '' } r_4 &= \frac{e_4}{I} = \frac{48,2}{0,688} = 70 \Omega \\ \text{'' '' '' '' '' } r_5 &= \frac{e_5}{I} = \frac{68,8}{0,688} = 100 \Omega \end{aligned}$$

Donde vemos que la Ley de Ohm no solamente se cumple de una manera general en los circuitos eléctricos, sino también en cualquier parte de ella.

El caso más interesante de estos cálculos lo tenemos, por ejemplo, en la alimentación de los filamentos en serie de las válvulas de un aparato radio-telefónico con el objeto de poderlos alimentar directamente con la red de alimentación. Tal cosa acontece en los aparatos que funcionan en redes de corriente eléctrica, de corriente continua o también en los de ambas corrientes.

Si por ejemplo tenemos el caso de la fig. 31, donde vemos conectadas en serie con una resistencia r_a cinco válvulas de radio (r_1, r_2, r_3, r_4, r_5).

TABLA III

**ALAMBRES ESPECIALES PARA RESISTENCIAS
ALAMBRES NICHROME — $\rho = 1,1 \Omega$ POR METRO MM.²**

Díámetro en mm.	Sección en mm.	Resistencia en ohms por metro	Corriente en Amperes a 600 °C
0.03	0.000707	1556	0.22
0.04	0.001257	875	0.27
0.05	0.00196	552	0.33
0.08	0.00503	215	0.51
0.10	0.0079	133.5	0.69
0.15	0.0179	59.9	1.24
0.20	0.0314	33.9	1.48
0.25	0.0490	21.55	1.74
0.30	0.0706	14.9	2.12
0.35	0.090	11.2	2.71
0.38	0.110	9.77	2.90
0.40	0.125	8.6	3.03
0.45	0.159	6.64	3.54
0.50	0.196	5.37	4.16
0.55	0.238	4.98	4.70
0.57	0.252	4.45	4.74
0.60	0.283	3.82	5.33
0.65	0.332	3.50	5.85
0.70	0.384	2.74	6.47
0.80	0.502	2.1	7.76
0.90	0.636	1.7	9.10
1.00	0.785	1.34	10.35
1.15	1.038	1.15	12.50
1.30	1.32	0.799	14.90
1.50	1.76	0.599	18.20
1.80	2.54	0.415	23.30
2.00	3.14	0.336	26.70
2.50	4.91	0.242	37

La intensidad del circuito es de $I = 0,3$ Amp., debido que tanto V_1 como V_2, V_3, V_4, V_5 , para trabajar correctamente tienen que ser atravesados por una intensidad $I = 0,3$ A., por lo cual debemos de cuidar que no se exceda de este valor.

Bajo estas condiciones, V_1 produce una caída de voltaje de 12,5 Volt; V_2 de 25 V.; V_3 de 6,3 V.; V_4 de 6,3 V. y V_5 de 6,3 V.; de manera que la suma de las caídas de voltaje necesarias para las válvulas es:

$$e_v = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5 = 12,5 + 25 + 6,3 + 6,3 + 6,3 = 56,4 \text{ V.}$$

Como la caída de tensión total producida por las válvulas es de 56,4 V. solamente, es lógico que no es posible conectar dichas válvulas a la línea de 220 V. porque se quemarían.

Vamos a demostrar esto.

Si las válvulas no admiten más que una intensidad de 0,3 Amp., la resistencia que tendrán todas juntas será $r_v = \frac{56,4}{0,3} = 188 \Omega$ aproximadamente.

Si esta resistencia la conectamos a los 220 V. la atravesará una intensidad

$$I = \frac{220}{188} = 1,17 \text{ Amp.}$$

Como ven, entre 0,3 A y 1,17 A, existe una gran diferencia. (Casi 4 veces la necesaria).

Para evitar esto se ha conectado en serie con las válvulas una resistencia la que sumada a las de las lámparas nos dará una resistencia tal que nos permitirá conectar el circuito a los 220 V. de la red de canalización y sin que sea atravesada por una intensidad de corriente mayor que 0,3 A.

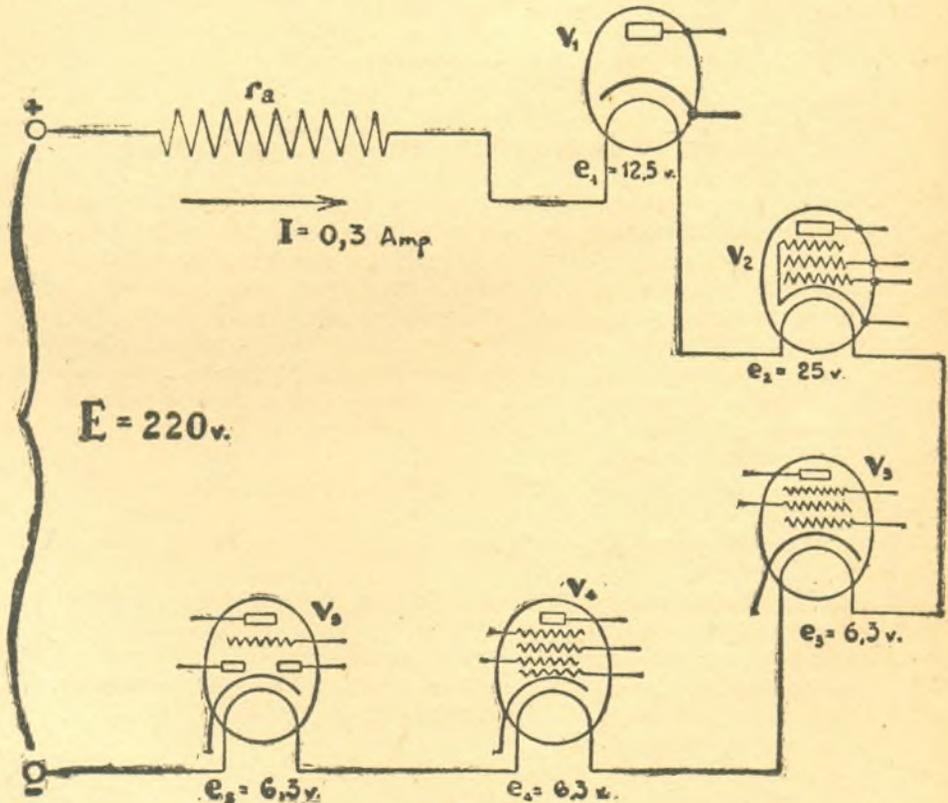


Fig. 31

Si la caída de voltaje producida por las válvulas es de $e_v = 56,4$ V., la resistencia tendrá que absorber la diferencia entre 220 V. y 56,4 V. o sea que tendrá que producirse sobre ella una caída de voltaje igual a $e_a = 220 - 56,4 = 163,6$ V. o sea que la caída de tensión $e_a = 163,6$ V.

Como sabemos que la resistencia r_a debe ser atravesada por una intensidad de corriente de 0,3 Amp. porque es la máxima admitida por las lámparas; la resistencia r_a tendrá como valor, si llamamos e_a a su caída de voltaje.

$$r_a = \frac{e_a}{I} = \frac{163,6}{0,3} = 545 \text{ Ohms.}$$

Podríamos comprobar estos cálculos para ver si la intensidad de la corriente es de 0,3, pues de lo contrario significaría que hay un error en los cálculos anteriores.

Si $r_a + r_v$ es la resistencia total del circuito; R será:

$$R = r_a + r_v = 545 + 188 = 733 \Omega$$

luego:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{733} = 2,987 \text{ Amp.}$$

vemos en este cálculo que no llegamos a 0,3 sino a una cifra muy próxima debido a que se desprecian algunos decimales; pero para la práctica es exacto.

Por lo pronto vemos que r_a tiene como valor 545 Ohms y que su único objeto es permitir conectar las 5 válvulas a la línea 220 Volt, para lo cual debe provocar una caída de 163,6 Volt.

12a. LECCION

Efecto de la temperatura en los Conductores

Debemos hacer notar que la temperatura tiene una gran importancia en la estabilidad de la resistencia de los conductores. Sabemos ya que el aumento de la temperatura en los conductores se debe al pasaje de la corriente, siendo también influídos por la temperatura ambiente. En los metales, la resistencia aumenta con el aumento de la temperatura al revés de lo que sucede en otros cuerpos, tales como los metaloides, cuya resistividad, disminuye con el aumento de la temperatura. Estos metaloides son el carbón, y algunos óxidos refractarios tales como el óxido de torio, de zirconio, electrolitos, etc.

Para poder calcular el aumento de la resistencia de un conductor se emplea la siguiente fórmula:

$$R = R_{15} [1 + C (t - 15^\circ)] \quad (6)$$

donde:

R es el valor alcanzado de la resistencia del conductor, cuya temperatura se ha elevado.

R_{15} es la resistencia del conductor a la temperatura ambiente de 15 centígrados (temperatura inicial).

t, es la temperatura del conductor calentado.

C, es una constante que tiene un valor para cada cuerpo a la temperatura de 15 centígrados y se llama Coeficiente de Temperatura (Tabla IV).

15°, es la temperatura inicial.

Tomemos un ejemplo: La resistencia de un conductor de cobre es de 200 Ohms a la temperatura de 15 grados centígrados. Si después de un cierto tiempo de circular corriente por dicho conductor, la temperatura ha llegado a 60 grados centígrados, se desea saber cuál es la resistencia del conductor a esa temperatura.

$$\text{Si } R_t = R_{15} [1 + C (t - 15)].$$

Según tabla N.º IV: C es igual a 0,00388, para el cobre recocido.

$$\text{Entonces } R = 200 [1 + 0,00388 (60 - 15)].$$

$$R = 200 [1 + 0,00388 \times 45].$$

$$R_t = 200 (1 + 0,17460) = 234,92 \Omega.$$

Donde puede verse que un conductor que a 15 grados tenía 200 Ohms, después de elevarse su temperatura hasta 60 grados, la resistencia alcanza el valor de 234,92 Ohms.

Ver Curso de Matemáticas (Apéndice)

TABLA IV
COEFICIENTES DE TEMPERATURA
MEDIDAS A 15° C.

Aluminio	0,0039	Manganina	0,000025
Antimonio	0,0036	Mercurio	0,00089
Bismuto	0,004	Molibdeno	0,004
Bronce	0,002	Nichrone	0,0004
Cadmio	0,0038	Níquel	0,005
Climax	0,0007	Niquelina	0,0003
Constantan	0,00001	Paladio	0,0033
Cobre recocido	0,00388	Rheotan	0,0004
" endurecido	0,00382	Bronce fosforoso	0,0018
Excello	0,00016	Platino	0,00247
Estaño	0,00365	Plata	0,00385
Plata alemana con 18 o/o de níquel	0,004	Acero E. B. B.	0,005
Plata alemana con 30 o/o de níquel	0,0001	Acero B. B.	0,004
Oro	0,00365	" Siemens Martín	0,003
Hierro 99, 98 o/o de pu- reza	0,005	" al manganeso	0,001
Plomo	0,00387	Tantalio	0,0031
Magnesio	0,004	Therlo	0,00001
		Tungsteno	0,0045
		Zinc	0,00365

En la tabla IV se observa que la mayor parte de los metales puros tienen un coeficiente de temperatura igual a 0,004 aproximadamente, es decir, que sus resistividades aumentan 0,04 por cada 100 grados centígrados de aumento de temperatura, o sean unos 40 Ω de aumento por cada 100 grados.

Las aleaciones de níquel y de manganeso tienen una resistividad bastante elevada y sus coeficientes de temperatura son pequeños. La necesidad de obtener resistencias que se mantengan prácticamente inalterables con las variaciones de temperatura, fué motivo de muchas experiencias y como resultado de las mismas, se han obtenido aleaciones tales como el Therlo, que varía en un cienmilésimo de Ohm por centígrado.

Se obtuvo también una aleación relativamente barata, el Constantan, cuya variación de resistividad es prácticamente estable. Se utiliza en instrumentos de medición y está compuesto de un 60 o/o de cobre y un 40 o/o de níquel. Otra aleación muy conocida es la Manganina compuesta de un 84 o/o de cobre, 12 o/o de níquel y 4 o/o de manganeso.

Las aleaciones se utilizan para las construcciones de grandes resistencias en las que es necesario que los calores de las resistencias permanezcan sensiblemente constantes. En el comercio se conocen estas aleaciones con el nombre de hierro-níquel, maulehort, niquelina, rheotan, constantan, nichrone, etc. Los números que figuran en la tabla de resistividad no pueden

dría ser reemplazada por la de "Fuerza Electromotriz" y que cada alambre poseía una propiedad de resistencia. Dejó establecidos tres términos donde no había más que uno y él fué quien creó la trinidad eléctrica completa.

Prueba de la Ley de Ohm — Supongamos que la disposición de la figura 33 sea tal que nos permita hacer la prueba de la Ley de Ohm. Como puede verse en la figura 33, tenemos conectados un voltímetro y un amperímetro, empleados para encontrar la relación entre el voltaje y la intensidad de la corriente (resistencia) y demostrar que la resistencia del circuito permanece constante aun cuando varíe la cantidad de pilas que componen la batería. Se ve que si aumenta el voltaje (f.e.m.) aumenta la intensidad de la corriente o viceversa, si se disminuye el voltaje (f.e.m.) disminuye la intensidad de la corriente y, por lo tanto, la relación entre el voltaje y corriente en el mismo circuito se mantiene constante.

Puede realizarse un experimento, según se ve en la fig. 33 (bis), donde no se emplea ni voltímetro ni amperímetro.

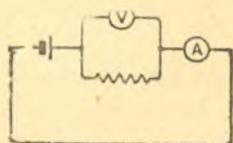


Fig. 33

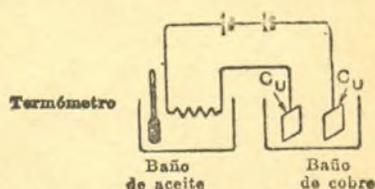


Fig. 33 bis

La diferencia de potencial entre dos puntos está definida como el trabajo realizado, cuando la unidad de carga eléctrica (electrón) es traída desde uno a otro punto, tal que cuando una cantidad de corriente "C" fluye, se produce un trabajo por segundo cuya diferencia de potencial es V y que aparece con calor, podemos escribir:

$$\text{Trabajo} = V \times I \text{ segundos}$$

y cuyo aumento de temperatura es acusado por el termómetro colocado en el baño de aceite.

La cantidad de corriente C es proporcional al peso de cobre depositado en la placa del lado derecho (en el baño de cobre) por segundo.

El producto $V \times C$ y C se ha medido y se encontró que los valores de V y C no alteran, cualquiera que sea el largo del alambre usado para calentar el baño de aceite.

EJEMPLOS PARA EL USO DEL ABACO

Valor de una resistencia del filamento; se quiere usar con una batería de 6 Volt. una lámpara de 2 Volt a 0,1 Amp. ¿Qué valor tendrá la resistencia conectada en serie?

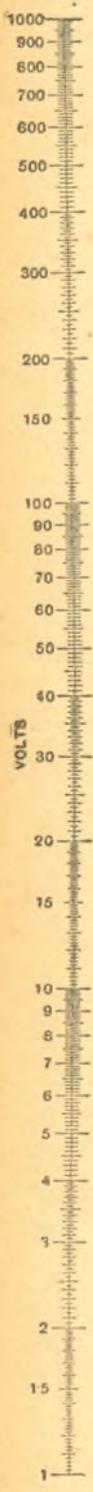
Yendo al ábaco adjunto se opera de la siguiente manera; únense los puntos correspondientes a 2 Volt y a 0,1 Amp. por una línea recta y encontraremos en la columna de las resistencias que corta la línea que la resistencia del filamento es de 20 Ohm. Para obtener la misma corriente por el filamento de 0,1 Amp. conectada dicha válvula a 6 Volt indica que la resistencia tiene que tener, uniendo por una línea 6 Volt con 0,1 Amp. una resistencia de 60 Ohm, puesto que la resistencia total del circuito en 6 Volt es de 60 Ohm y la lámpara tiene 20 Ohm, la resistencia a conectar en serie con la lámpara será de 60 menos 20 igual a 40 Ohm.

Otro: Una batería de 20 Volt aplicados a una resistencia de 1.000 Ohm permite pasar una corriente de 0,02 Amp.

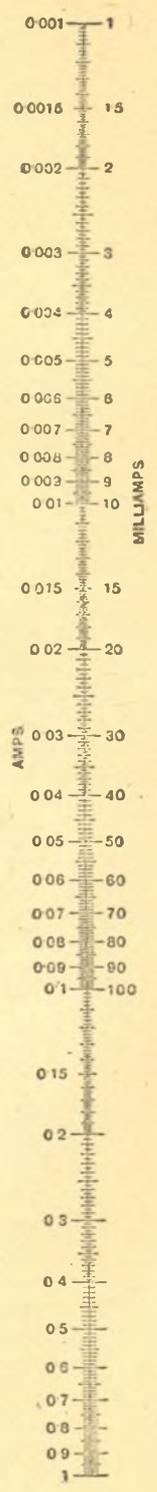
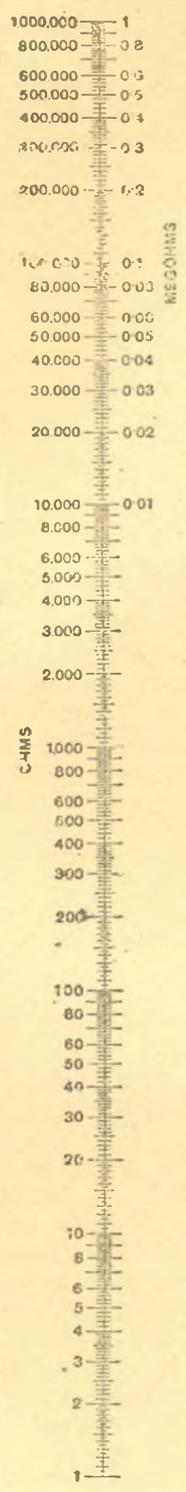
Otro ejemplo: tenemos el caso de la fig. 23. Teníamos que la fuerza electromotriz era de 220 Volt y la resistencia $R = 750 \Omega$; se pedía calcular la intensidad de la corriente I. Si unimos con una regla el punto sobre el

ABACO N.º 1

LEY DE OHM



*Amperes = Volts dividido por Ohms.
 Ohms = Volts dividido por Amperes.
 Volts = Amperes multiplicado por Ohms.*

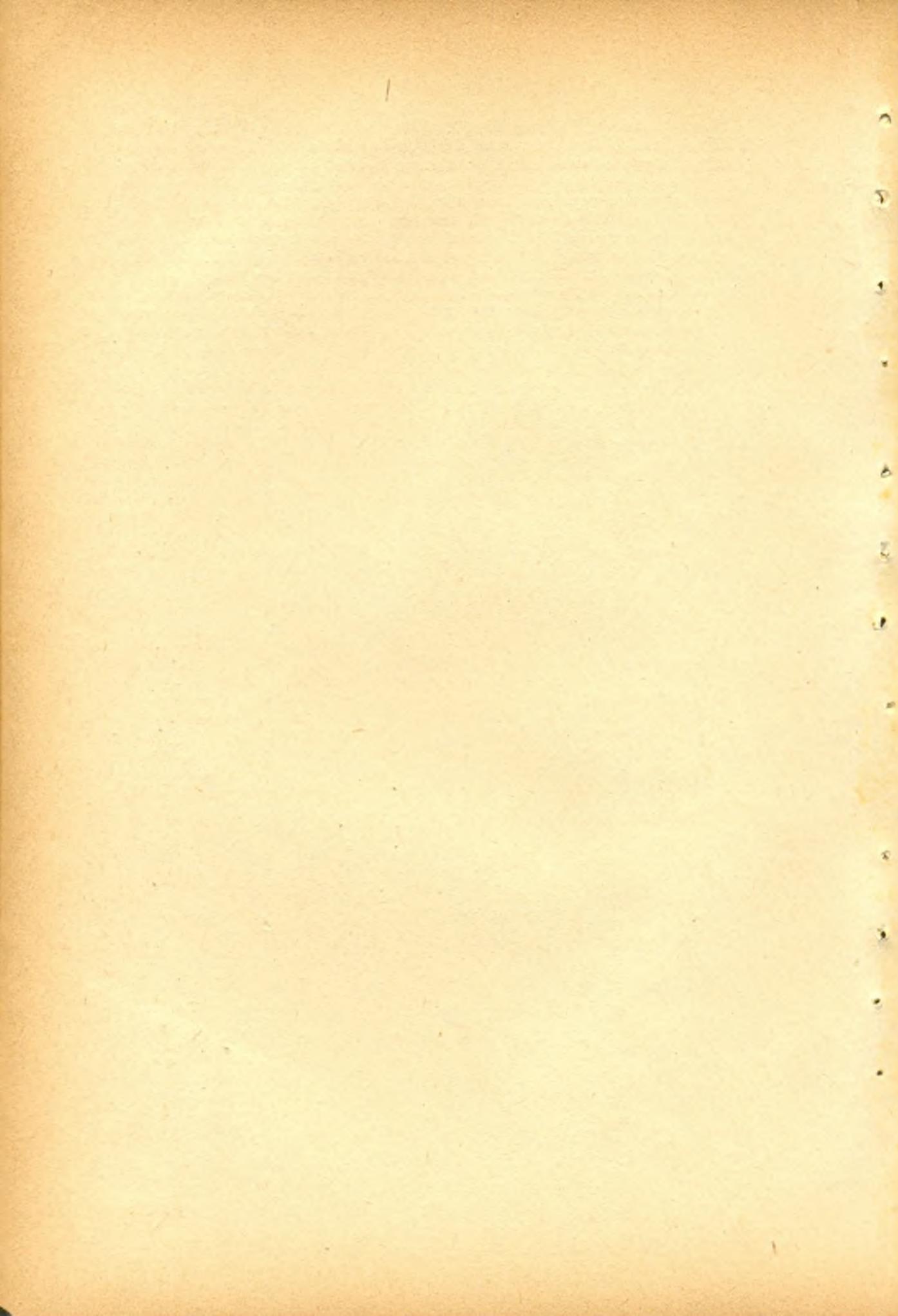


VOLTS = OHMS x AMPS.

Abaco donde está indicado 220 V. (línea de Volt) con el punto indicado 750 Ω (línea de Ohm), veremos que la regla corta a la línea de amperes en un punto, más o menos en 0,292 Amp., es lo que habíamos calculado. Si tenemos que la caída de voltaje sobre una resistencia de 300 Ω tiene un determinado valor para cuando la intensidad de la corriente es de 0,13 Amp., ¿cuál será esa caída de voltaje? Unase con una recta sobre la línea de Ohms donde está marcado 300 Ω con el punto que corresponde sobre la línea de amperes que da 0,13 Amp. y nos dará sobre la línea de Volt. 38,5 Volt.

Los lectores pueden realizar los cálculos hechos en las 10a. y 11a. Lecciones con el Abaco, así como también los que realicen en sus casas.

Debemos hacer recordar tengan muy en cuenta las instrucciones que se dan en la primera contratapa. Además, conviene estudiar parte por parte, muy lentamente.



Aplicaciones de la ley de Ohm a la Radio

Vimos en las últimas lecciones el desarrollo de la Ley de Ohm, aplicada para los tres factores que intervienen en un circuito eléctrico. Veamos ahora los casos generales en que esta ley se aplica con mayor frecuencia. Todos los circuitos de radio constan, en esencia, como luego explicaremos, de una serie de circuitos, dispuestos en serie o en paralelo, y de su combinación resultan los circuitos básicos por medio de los cuales se realizan los distintos tipos de receptores, transmisores, etc.

En forma somera, se ha visto ya cómo se calcula un circuito en serie. Repasaremos algunos conceptos antes de entrar al estudio de resistencias en paralelo y resistencias en conexión mixta (serie paralelo).

En un circuito serie donde el voltaje aplicado a las bornas es constante, la corriente que lo atraviesa adquiere un valor, al que queda limitado por la resistencia o resistencias intercaladas en el circuito; en otras palabras, la intensidad de la corriente eléctrica depende de la resistencia del circuito cuando la fuerza electromotriz no varía. Puesto que la intensidad de la corriente depende de la resistencia intercalada en el circuito, dicha intensidad será constante en cualquier punto de la misma y, resumiendo: la intensidad en un circuito en serie es la misma en cualquier punto de éste.

RESISTENCIAS EN PARALELO

Podría definirse como resistencia en paralelo, aquellas que están conectadas por sus extremos, de manera tal que la caída de voltaje producida depende de la acción de conjunto. En la figura 34 se ve que las dos resistencias r_1 y r_2 están conectadas directamente a la fuente de fuerza electromotriz. El problema consiste en reducir dichas resistencias al valor de una sola equivalente, y de esta manera se puede calcular la intensidad de la corriente que las atraviesa cuando se conoce la fuerza electromotriz. Consideremos el caso más sencillo: cuando en el circuito figura solamente r_1 . La solución se obtiene fácilmente aplicando la Ley de Ohm:

$$I = \frac{E}{ER}; \text{ y en nuestro caso: } i_1 = \frac{E}{r_1}$$

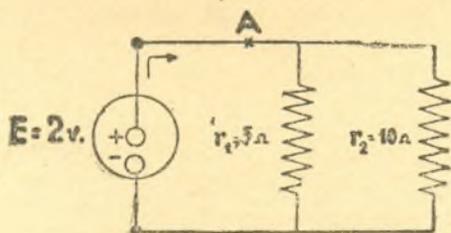


Fig. 34

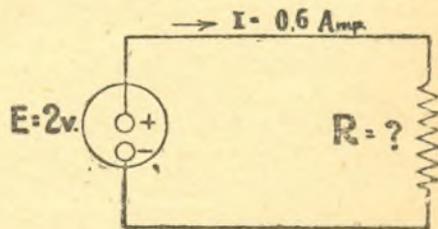


Fig. 35

(La anotación i_1 , r_1 , indica que se trata de resistencias e intensidades de corrientes parciales). Si E vale 2 Volts y $r_1 = 5 \Omega$ tendremos que:

$$i_1 = \frac{E}{r_1} = \frac{2}{5} = 0,4 \text{ Amp.}$$

Lo que significa que si r_1 estuviese en el circuito, la intensidad sería de 0,4 Amp., de manera que si intercaláramos un amperímetro en el punto A, marcaría 0,4 Amp. Bien; si ahora hacemos abstracción de la resistencia r_1 , nos queda en el circuito la resistencia r_2 . Luego, la intensidad de la corriente tendrá un cierto valor para un determinado valor de r_2 . Supongamos que $r_2 = 10 \Omega$; entonces:

$$\frac{E}{r_2} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ Amp.}$$

Esto significa que r_2 permite pasar una corriente de 0,2 Amp. ¿Qué sucede si tanto r_1 como r_2 están conectadas directamente a la fuerza electromotriz? Pues, que tanto una como otra permitirán el pasaje de la corriente que hemos calculado, es decir, que $i_1 = 0,4 \text{ Amp.}$, e $i_2 = 0,2 \text{ Amp.}$

De manera que si leemos en el amperímetro intercalado en A, veremos que indica 0,6 Amp., o sea exactamente la suma de los dos. De aquí se desprende la siguiente conclusión: **si conectamos una resistencia en paralelo con otra la corriente total del circuito aumenta.** Es decir, que hace el mismo efecto que el de reducir la resistencia del circuito; en efecto, si quisiéramos hacer pasar por el circuito de la figura 34 una intensidad $I = 0,6 \text{ Amp.}$, cuando $E = 2 \text{ V.}$, la resistencia R tendrá que ser:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{2}{0,6} = 3,33 \Omega$$

En efecto, si tenemos un circuito como el de la figura 35, tendremos: $R = 3,33 \Omega$ que, como veremos en seguida, es el equivalente del valor de r_1 y r_2 .

Vimos ya que si se conecta una resistencia en paralelo con otra, la resistencia disminuye, y por esta razón podemos decir que el circuito se hace más conductor. A este fenómeno se le llama "Conductancia".

Es fácil darse cuenta que este fenómeno es la inversa de la resistencia; de manera que si tenemos un circuito de resistencia R , su conductancia se-

rá la inversa, o sea $\frac{1}{R}$. Para distinguir las unidades de conductancia de

las de resistencia, se las designa con la palabra "MHO", o sea OHM invertida, que se abrevia (Ω) que es también la letra omega que indica Ohm pero también invertida. Como submúltiplo tenemos el Micromho, muy empleado en Radio, que se abrevia ($\mu\Omega$) y que vale un millonésimo de Mho.

Queda bien establecido que al conectar una resistencia en paralelo con otra se aumenta la conductancia y el resultado se expresa por $\frac{1}{R}$.

Luego podemos sumar las resistencias parciales r_1 y r_2 , pero como conductancias.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{r_1 + r_2}{r_1 \times r_2}$$

O sea:

$$\frac{1}{R} = \frac{r_1 + r_2}{r_1 \times r_2}$$

pero como lo que nos interesa saber es el valor de la resistencia equivalente de r_1 y r_2 y no su conductancia para el cálculo de la intensidad del circuito, tendremos: (*).

(*) Ver curso de matemáticas.

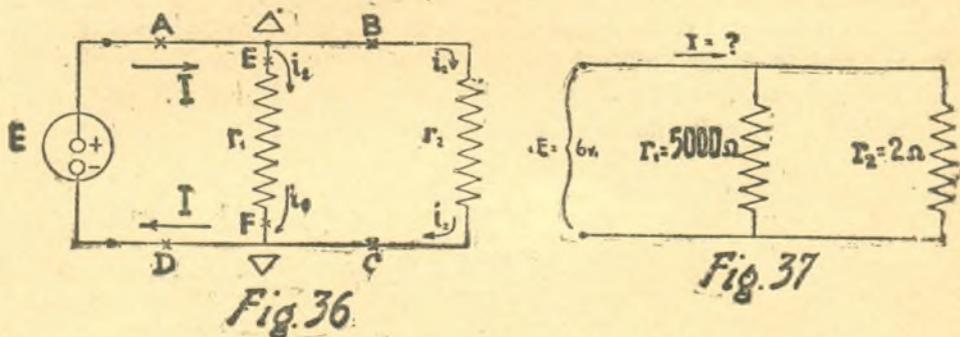
$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} \quad (7)$$

De donde obtenemos una fórmula que podría llamarse general. Para comprobar si la fórmula es exacta, apliquémosla al primer ejemplo de la figura 34. Recordemos que se trata de averiguar la resistencia equivalente, o sea una resistencia que produzca en la intensidad de la corriente el mismo efecto que las dos: r_1 y r_2 . Dijimos que $r_1 = 5 \Omega$ y $r_2 = 10 \Omega$. Sustituyamos sus valores en la fórmula (7); o sea que se reducirá el circuito a la figura 35.

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} = \frac{5 \times 10}{5 + 10} = \frac{50}{15} = 3,33 \Omega$$

o sea: $R = 3,33 \Omega$, que es exactamente la misma que hallamos de una manera indirecta.

Veamos la figura 36; en ella se indica con flechas el recorrido de la corriente en un circuito de dos resistencias en paralelo. La flecha I en la parte superior nos indica que en esa parte del circuito circula la intensidad de la corriente total de r_1 y r_2 , que quedaría indicada por un amperímetro intercalado en el punto A.



En el punto Δ la corriente total se bifurca en dos partes, o sea en los valores que pueden tomar i_1 e i_2 , dependiendo estos valores de r_1 y r_2 y del voltaje E . La flecha i_1 indica que la intensidad i_1 es la que atraviesa r_1 y la flecha i_2 es la corriente que atraviesa r_2 . Si en los puntos E o F intercalamos un amperímetro, éste nos indicaría el valor que podrá alcanzar i_1 , siendo las lecturas en E y F exactamente las mismas por estar en serie con la misma resistencia r_1 . Si intercalamos un amperímetro en los puntos B ó C, éste nos indicará el valor de la corriente que alcanzará i_2 , siendo también ambas lecturas iguales por estar intercaladas en el mismo circuito de r_2 . Por último, si intercalamos un amperímetro en D, éste nos indicaría la intensidad de la corriente total, debido a que las intensidades que atraviesan r_1 y r_2 deben necesariamente volver a la f.e.m., siendo el punto ∇ , el punto donde convergen las dos intensidades. Es fácil imaginar que las lecturas en los amperímetros intercalados en el circuito de r_1 y r_2 nos darán en conjunto el valor de la intensidad total, o sea el valor que nos indicaría un amperímetro intercalado en A ó D.

Si ocurriera que el amperímetro intercalado en el circuito de r_1 nos indicara una intensidad igual a la de r_2 , ¿cómo debe interpretarse esta lectura? Significa que tanto r_1 como r_2 tienen el mismo valor de Ohms, y por lo tanto la intensidad total del circuito será el doble de la intensidad de una de las "ramas". Veamos si esto es cierto:

Sea $r_1 = 20 \Omega$; $r_2 = 20 \Omega$ y $E = 50 \text{ V}$.

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} = \frac{20 \times 20}{20 + 20} = \frac{400}{40} = 10 \Omega$$

por lo que vemos que al conectar dos resistencias del mismo valor en paralelo el valor equivalente en el circuito es exactamente igual a la mitad.

La intensidad en el circuito total y parcial es:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{50}{10} = 5 \text{ Amp.}; \text{ la intensidad en } r_1 \text{ es:}$$

$$i_1 = \frac{E}{r_1} = \frac{50}{20} = 2,5 \text{ '' ; '' '' '' } r_2 \text{ ''}$$

$$i_2 = \frac{E}{r_2} = \frac{50}{20} = 2,5 \text{ '' .}$$

Como las intensidades de cada rama sumadas nos dan el valor de la intensidad de la corriente total, tendremos:

$$I = i_1 + i_2 = 2,5 + 2,5 = 5 \text{ Amp.}$$

que es efectivamente lo que calculamos en base a la fórmula (7) empleada para el cálculo de la resistencia equivalente.

Supongamos que el amperímetro intercalado en r_1 nos indicara una corriente muy pequeña, comparada a la que nos indica r_2 , y que la intensidad de la corriente total difiere muy poco de la que atraviesa r_2 ; esto significa que el valor de r_1 en Ohms es mucho mayor que el de r_2 .

Veamos por ejemplo: en la fig. 37: $r_1 = 5.000 \Omega$ y $r_2 = 2 \Omega$.

Si la f.e.m. aplicada es de $E = 6 \text{ V.}$, tendremos que i_1 e i_2 serán:

$$i_1 = \frac{E}{r_1} = \frac{6}{5000} = 0,0012 \text{ Amp.}$$

$$i_2 = \frac{E}{r_2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ Amp.}$$

Vemos que efectivamente hay una diferencia enorme en las intensidades. Pero no olvidemos que lo mismo sucedería si estas resistencias estuviesen conectadas a los 6 V. separadamente. Pero queremos llegar a lo siguiente: si $r_1 = 5000 \Omega$ y $r_2 = 2 \Omega$, ¿cuál será la resistencia equivalente de estas dos? Apliquemos la fórmula (7):

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} = \frac{5.000 \times 2}{5.000 + 2} = \frac{10.000}{5.002} = 1,998 \Omega$$

Posiblemente sorprenderá este resultado, pero si se observan las intensidades obtenidas más arriba se verá que para r_1 la intensidad es muy pequeña comparada por la que pasa por r_2 , es decir que la intensidad total del circuito es de:

$$I = i_1 + i_2 = 0,0012 + 3 = 3,0012 \text{ Amp.}$$

Como se ve, la intensidad total difiere en 12 milésimos de Ampere, o sea 12 m. A., con respecto a la corriente que atraviesa r_2 . Si observamos el valor de la resistencia r_2 , se ve que es muy próxima a la total, pues $r_2 = 2 \Omega$, mientras que $R = 1,998 \Omega$, o sea prácticamente 2Ω .

En los ejemplos dados, tenemos dos casos extremos: dos resistencias en paralelo iguales y dos resistencias muy distintas. Vimos que cuando las dos resistencias eran iguales su valor equivalente era exactamente la mitad del valor de una de ellas; en cambio, si conectamos dos resistencias distintas en valor óhmico, la resistencia equivalente tiene un valor menor que la menor de las dos. En efecto, en el último ejemplo, fig. 37, vemos que la resistencia menor de las dos es la que tiene un valor igual a 2Ω , la resistencia equivalente de r_1 y r_2 es $R = 1,998$, un poco inferior a 2Ω .

Podemos aclarar esta idea con otro ejemplo. Supongamos que $r_1 = 30 \Omega$

y $r_2 = 70 \Omega$; entonces:

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} = \frac{30 \times 70}{30 + 70} = \frac{2.100}{100} = 21 \Omega$$

Vemos que, en efecto, la resistencia equivalente $R = 21 \Omega$, es menor que la menor de las dos, puesto que $r_1 = 30 \Omega$.

Esto se cumple en todos los casos. También podemos observar que al conectar dos resistencias en paralelo, el valor menor equivalente se obtiene cuando las dos son iguales, o sea que la resistencia equivalente es igual a la mitad del valor de una de ellas.

14a. LECCION

RESISTENCIAS EN PARALELO (MAS DE DOS)

Cualquier circuito eléctrico, y en especial los circuitos de Radio, se reducen generalmente a lo que hemos estudiado al tratar de resistencias en paralelo. Veamos ahora cómo se reduciría un circuito de tres resistencias. En la figura 38 tenemos las tres resistencias conectadas en paralelo, con sus valores indicados. Para buscar el equivalente de las tres se reducen primero dos de ellas a una equivalente, quedando de esta manera reducido a un circuito de dos resistencias en paralelo. Para ello procederemos de la siguiente manera: tomemos por ejemplo, r_1 y r_2 y busquemos su equivalente R' .

Tendremos:

$$R' = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} = \frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12 \Omega$$

o sea: $R' = 12 \Omega$, es decir, que podríamos dibujar este circuito según 38 bis, donde vemos que el circuito de la fig. 38 lo hemos transformado en el de la 38 bis, reduciendo r_1 y r_2 a su valor equivalente R' . Sigamos resolviendo el problema: tenemos ahora reducido todo a la figura 38 bis, de manera que la resistencia equivalente total será:

$$R = \frac{R' \times r_3}{R' + r_3} = \frac{12 \times 40}{12 + 40} = \frac{480}{52} = 9,23 \Omega$$

es decir que la resistencia total equivalente $R = 9,23 \Omega$.

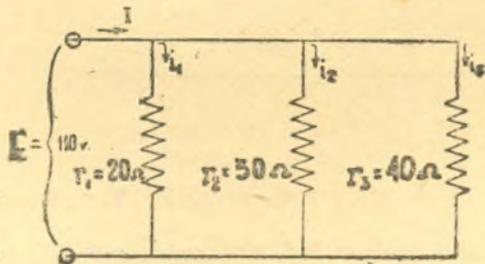


Fig. 38

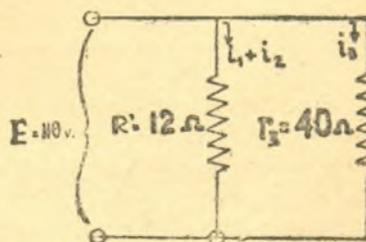


Fig. 38 (bis)

Observamos en este caso que se repite lo que dijimos en la lección anterior, esto es, que la resistencia resultante equivalente de un circuito paralelo es menor en valor óhmico que la menor de las conectadas en paralelo. En este caso la menor de todas es $r_1 = 20 \Omega$ y la equivalente de las tres es $9,23 \Omega$. Para evitar cálculos largos y sus posibles errores, se puede emplear una fórmula sola, que se obtendría si repetimos el procedimiento que nos dió la fórmula (7). Sean r_1 , r_2 y r_3 tres resistencias conectadas en pa-

ralelo; la conductancia total del circuito será $\frac{1}{R}$, por lo tanto

y si fueran más de tres resistencias, podríamos escribir:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} + \dots \text{ etc.}$$

Volvamos a lo anterior:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} = \frac{(r_2 \times r_3) + (r_1 \times r_3) + (r_1 \times r_2)}{r_1 \times r_2 \times r_3}$$

y la resistencia será:

$$R = \frac{r_1 \times r_2 \times r_3}{(r_2 \times r_3) + (r_1 \times r_3) + (r_1 \times r_2)} \dots \dots \dots (8) *$$

Si sustituimos los valores dados en la figura 38, tendremos:

$$R = \frac{20 \times 30 \times 40}{(30 \times 40) + (20 \times 40) + (20 \times 30)} = \frac{24.000}{1200 + 800 + 600} = \frac{24.000}{2.600} = 9,23 \Omega$$

o sea que por el otro método (fórmula 8) obtenemos el mismo resultado de $R = 9,23 \Omega$. Por lo tanto queda a criterio del lector aplicar la fórmula que crea más conveniente. Aplicaremos esta fórmula en un nuevo ejemplo para aclarar más los conceptos. Sea la fig. 39, donde

$r_1 = 200 \Omega$; $r_2 = 180 \Omega$ y $r_3 = 150 \Omega$

aplicando la fórmula 8 para obtener la resistencia equivalente, calculamos:

$$R = \frac{r_1 \times r_2 \times r_3}{(r_2 \times r_3) + (r_1 \times r_3) + (r_1 \times r_2)} = \frac{200 \times 180 \times 150}{(180 \times 150) + (200 \times 150) + (200 \times 180)}$$

$$= \frac{5.400.000}{5.400.000} = 58 \Omega \text{ aprox.}$$

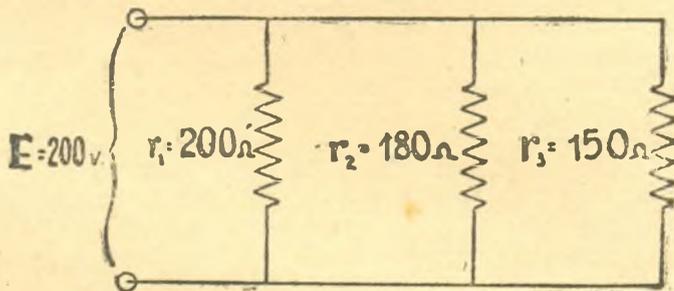


Fig. 39

El lector podrá ejercitarse resolviendo este mismo problema por el método anterior (7).

Si el voltaje (f.e.m.) aplicado al circuito (fig. 39) es de 200 V., la intensidad total del circuito será:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{200}{58} = 3,45 \text{ Amp. aprox.}$$

y las intensidades parciales:

$$i_1 = \frac{E}{r_1} = \frac{200}{200} = 1 \text{ Amp.}$$

$$i_2 = \frac{E}{r_2} = \frac{200}{180} = 1,11 \text{ Amp.}$$

(*) Ver Lección Matemáticas (Apéndice).

$$i_3 = \frac{E}{r_3} = \frac{200}{150} = 1,335 \text{ Amp.}$$

y la suma de: $i_1 + i_2 + i_3$ nos dará la I total, o sea:

$$I = i_1 + i_2 + i_3 = 1 + 1,11 + 1,335 = 3,445 \text{ Amp.}$$

es decir, un poco menor (5 m.A. ó 0,005 Amp.) debido al error de apreciación de los decimales. En la práctica pueden considerarse iguales, pues el error es despreciable.

Podemos observar, en el desarrollo de las intensidades parciales, que a menor resistencia corresponde una mayor intensidad de corriente eléctrica, resultado que está perfectamente de acuerdo con la Ley de Ohm.

Si tuviéramos, por ejemplo, cuatro resistencias en paralelo, podríamos obtener fácilmente la equivalente total de la siguiente manera: calculando la equivalente de r_1 y r_2 ; luego la de r_3 y r_4 . Si llamamos R' a la equivalente de r_1 y r_2 y R'' a la de r_3 y r_4 , tendríamos todo el circuito reducido a un circuito de dos resistencias en paralelo, de manera que podríamos escribir:

$$R = \frac{R' \times R''}{R' + R''}$$

Resumiendo todo lo dicho, podemos establecer que para calcular la intensidad total del circuito se reducen todas las resistencias a una, lo que significa reducir el circuito de varias resistencias a un circuito simple de una resistencia equivalente en serie, lo que permite aplicar directamente la fórmula general de la Ley de Ohm. Veremos luego que esto se hace extensivo para todos los casos.

RESISTENCIAS EN CONEXION MIXTA

Una forma típica de circuito mixto es la que aparece en la fig. 40, que podría ser el caso general de cualquier circuito eléctrico. En la Radiotécnica tiene una importancia vital el saber reducir esta clase de circuitos. Lo analizaremos detenidamente; si seguimos el recorrido de la corriente a partir del positivo de la pila (f.e.m.) se ve que la corriente total se bifurca por r_1 y r_2 , volviendo a converger después de atravesar dichas resis-

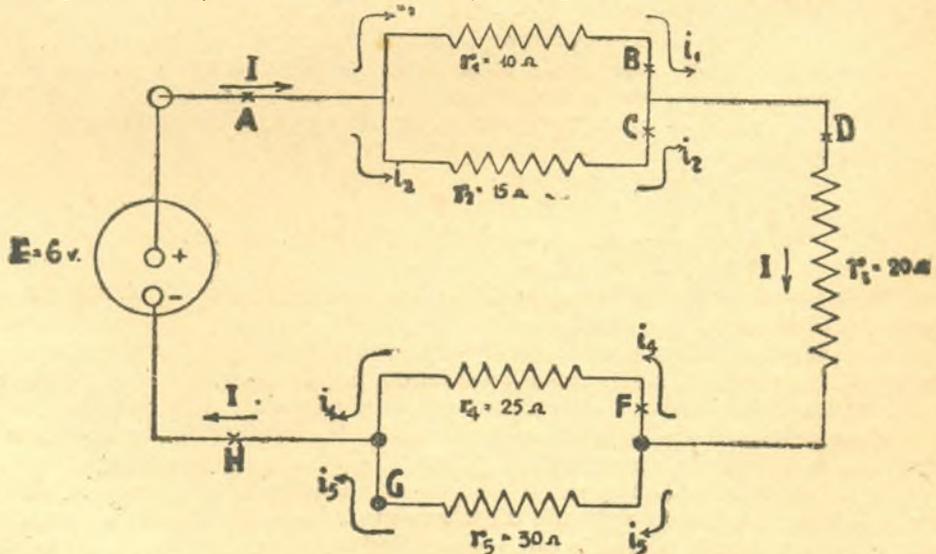


Fig. 40

tencias. Por lo tanto r_1 está en paralelo con r_2 . La intensidad de la corriente sigue su camino y atraviesa r_3 , por lo que se ve que está en serie con las resistencias r_1 y r_2 ; por lo tanto la corriente total pasará íntegra por r_3 . Luego la intensidad de la corriente atravesará las resistencias r_4 y r_5 , bifurcándose para luego encontrarse nuevamente y retornar a la pila. Se ve también en este caso que r_4 y r_5 están en paralelo. Si intercalamos un amperímetro en A, éste nos indicará la intensidad total del circuito; si intercalamos otro amperímetro en B, nos indicará la intensidad que atraviesa a r_1 ; si intercalamos otro amperímetro en C, nos indicará la intensidad que atraviesa a r_2 . Un amperímetro intercalado en D nos indicará lo mismo que en A y en H, por estar todas en serie, o sea la intensidad total de la corriente, y si intercalamos un amperímetro en F y G nos indicarán respectivamente las intensidades de la corriente que atraviesan a r_4 y r_5

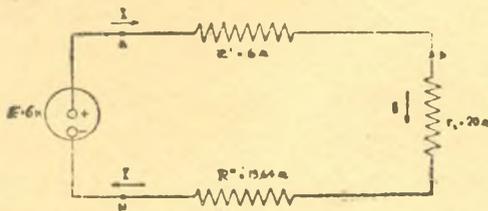


Fig. 41.

¿De qué manera se podrá reducir dicho circuito? Por lo pronto vemos que si reducimos r_1 y r_2 a su equivalente y hacemos lo mismo con r_4 y r_5 , tendremos un circuito formado por tres resistencias en serie. En efecto, operemos:

1* — Busquemos el equivalente de r_1 y r_2 y llamemos R' a éste:

$$R' = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = \frac{150}{25} = 6 \Omega$$

2* — Busquemos el equivalente de r_4 y r_5 y llamemos R'' a éste:

$$R'' = \frac{r_4 \times r_5}{r_4 + r_5} = \frac{25 \times 30}{25 + 30} = \frac{750}{55} = 13,64 \Omega \text{ aprox.}$$

3* — Dibujemos el nuevo circuito equivalente y obtendremos la fig. 41.

4* — Veamos qué resistencia total tenemos: Este circuito ya nos es familiar, tenemos tres resistencias en serie, de manera que el total será:

$$R = R' + r_3 + R'' = 6 + 20 + 13,64 = 39,64 \Omega$$

es decir, que la resistencia total $R = 39,64 \Omega$.

5* — La intensidad total será:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{6}{39,64} = 0,1514 \text{ Amp. aprox.}$$

Por lo tanto los amperímetros colocados en A, D, H, nos indicarían una intensidad igual a 0,1514 Amp.

Con estos cálculos podríamos dejar terminado el problema, pero a fin de aclarar conceptos seguiremos estudiando los detalles. ¿Cómo podríamos calcular las intensidades de corriente que atraviesan r_1 , r_2 , r_4 y r_5 ?

Para calcularlas sólo tenemos como datos los valores de las resistencias atravesadas por dicha corriente (i_1 ; i_2 ; i_4 ; i_5), pues no conocemos el voltaje (caída de voltaje) aplicado en sus extremos. Además no podemos hablar de f.e.m., pues ésta no va aplicada directamente a los extremos de las resistencias parciales; por lo tanto lo que en realidad existe es una caída de voltaje determinada. Por ejemplo, si consideramos las resistencias r_1 y r_2 la equivalente o sea R' , tiene un valor determinado que habíamos calculado, y era de 6Ω ; pues bien, al pasar la corriente total del circuito por dicha equivalente, produce una caída de voltaje determinada.

Como R' es equivalente de r_1 y r_2 , lógicamente debemos considerar que ese mismo fenómeno de caída de voltaje es producido por éstas; en tal caso busquemos cuál es la caída, ya que conociéndola podremos calcular las intensidades parciales i_1 e i_2 . Entonces si la resistencia equivalente $R' = 6\Omega$ es atravesada por una intensidad de corriente $I = 0,1514$ Amp., la caída de voltaje será, llamando e_{1-2} , a dicha caída. (Recordemos la fórmula general para caídas de voltajes $E = I \times R$).

$$e_{1-2} = I \times R' = 0,1514 \times 6 = 0,91 \text{ Volt}$$

es decir, que la caída de voltaje que produce la equivalente de r_1 y r_2 es de 0,91 Volt; por lo tanto la caída de voltaje en los extremos de r_1 como de r_2 tiene que ser la misma e igual a 0,91 Volt, y por lo tanto la intensidad de la corriente i_1 que atraviesa r_1 es:

$$i_1 = \frac{e_{1-2}}{r_1} = \frac{0,91}{10} = 0,091 \text{ Amp. aprox.}$$

y la intensidad de la corriente en i_2 que atraviesa r_2 es:

$$i_2 = \frac{e_{1-2}}{r_2} = \frac{0,91}{15} = 0,0602 \text{ Amp. aprox.}$$

de manera que si por la resistencia equivalente R' pasa 0,1514 Amp., la suma de i_1 e i_2 debe ser la misma, de modo que para esta rama:

$$I = i_1 + i_2 = 0,091 + 0,0602 = 0,1512 \text{ Amp.}$$

o sea aproximadamente la misma. Veamos ahora cómo se calcula i_4 e i_5 .

El procedimiento es exactamente el mismo que para i_1 e i_2 , de manera que debemos calcular primero la caída de voltaje que produce el equivalente de r_4 y r_5 , o sea la que produce $R'' = 13,64 \Omega$, y llamando e_{4-5} a su caída de voltaje, tendremos:

$$e_{4-5} = I \times R'' = 0,1514 \times 13,64 = 2,065 \text{ Volt aprox.}$$

por lo tanto:

$$i_4 = \frac{e_{4-5}}{r_4} = \frac{2,065}{25} = 0,0826 \text{ Amp.}$$

$$i_5 = \frac{e_{4-5}}{r_5} = \frac{2,065}{30} = 0,0688 \text{ Amp.}$$

es decir, que por i_4 pasan 0,0826 Amp. y por i_5 pasan 0,0688 Amp.; por lo tanto la suma de las dos nos debe dar la intensidad total de la corriente. En efecto, la intensidad total para esta rama es:

$$I = i_4 + i_5 = 0,0826 + 0,0688 = 0,1514 \text{ Amp.}$$

cumplíndose por lo tanto lo que afirmábamos más arriba.

Ya que estamos tratando problemas de caídas de voltaje, veamos cuál es la que produce r_3 , para comprobar si hubo error.

Si a la caída de r_3 la llamamos e_3 , como la intensidad de la corriente que atraviesa a dicha resistencia es la total, tendremos:

$$e_3 = I \times r_3 = 0,1514 \times 20 = 3,028 \text{ Volt}$$

Como R' , o sea la equivalente de r_1 y r_2 , produce una caída de voltaje de $e_{1-2} = 0,91$ Volt; r_3 produce una caída de voltaje de 3,028 Volt y el equivalente de r_4 , r_5 , o sea R'' , una caída de 2,065, tendremos sumándolas todas, una caída de voltaje total que igualará en valor numérico a la f.e.m. Luego:

$$e = e_{1-2} + e_3 + e_{4-5} = 0,91 + 3,028 + 2,065 = 6,003 \text{ Volt}$$

Como se ve, aparece un exceso de 3 milésimos de Volt, debido a que hemos redondeado algunas cifras decimales, pero aún así el resultado es exacto.

Veamos otro ejemplo de este tipo de circuitos mixtos: sea la fig. 42 dicho circuito; lo hemos complicado ex profeso para ejercitar en el manejo de todas las fórmulas vistas hasta el momento. La fig. 42 muestra un circuito formado por 6 resistencias cuyos valores están indicados en la misma.

Se desea calcular la intensidad total del circuito dadas la f.e.m. y las

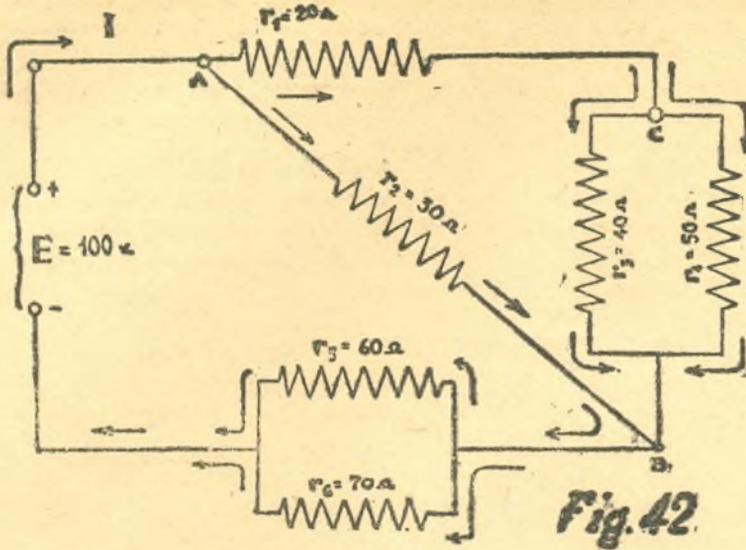


Fig. 42

resistencias en sus valores parciales, Analicemos el circuito: siguiendo la flecha que sale del polo positivo se llega al punto A donde la corriente se bifurca en dos ramas: una a través de r_1 y otra a través de r_2 . La intensidad de la corriente que atraviesa r_1 se dirige también al punto donde están conectadas dos resistencias r_3 y r_4 , y se vuelven a juntar en B; por lo tanto, r_3 y r_4 están en paralelo. Pero como la corriente que atraviesa r_1 también atraviesa r_3 y r_4 , éstas a su vez estarán conectadas en serie con r_1 .

Ahora bien; si observamos la corriente que atraviesa r_2 , se ve que llega también al punto B, de manera que si la corriente total se ha dividido entre la rama r_1 y r_3 r_4 por un lado y en r_2 por otro y a su vez estas corrientes convergen en un mismo punto, r_2 estará en paralelo con la serie formada por r_1 y r_3 r_4 . Respecto a r_5 y r_6 se ve en seguida que están entre sí en paralelo, pero en serie con el resto del circuito.

Ya que conocemos el circuito, tratemos de calcularlo buscando las equivalentes, y de esta manera simplificaremos el circuito. Para esto busquemos el equivalente de las resistencias que a simple vista se ve que están en paralelo. Tomemos r_3 y r_4 y llamemos a su equivalente R' . Entonces:

$$R' = \frac{r_3 \times r_4}{r_3 + r_4} = \frac{40 \times 50}{40 + 50} = \frac{2.000}{90} = 22,22 \Omega$$

Ahora tomemos r_5 y r_6 y busquemos su equivalente, de manera que si llamamos R'' a éste tendríamos:

$$R'' = \frac{r_5 \times r_6}{r_5 + r_6} = \frac{60 \times 70}{60 + 70} = \frac{4.200}{130} = 32,3 \Omega$$

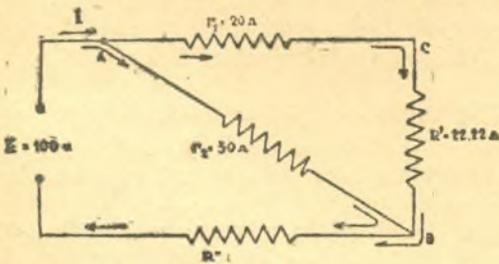


Fig. 43

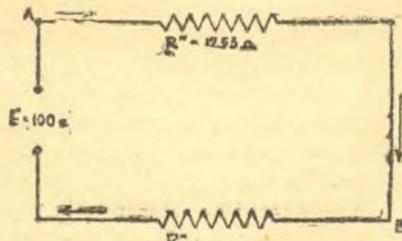


Fig. 44

Si dibujamos un circuito con los valores nuevos obtendremos el de la figura 43. En esta figura aparece claramente que r_2 está en paralelo con

las resistencias r_1 y R' que están entre sí en serie, de manera que si sumamos r_1 y R' llamando R''' a dicha suma, tendremos:

$$R''' = r_1 + R' = 20 + 22,22 = 42,22 \Omega$$

Como esta resistencia queda en paralelo con r_2 , busquemos su equivalente llamando R^{IV} a dicho valor, tendremos:

$$R^{IV} = \frac{r_2 \times R'''}{r_2 + R'''} = \frac{30 \times 42,22}{30 + 42,22} = \frac{1266,6}{72,22} = 17,53 \Omega$$

por lo tanto, si volvemos a dibujar el nuevo circuito obtendremos el de la figura 44 que ha quedado reducido a dos resistencias, R^{IV} y R'' que por estar en serie se suman y nos darán por fin la resistencia total equivalente de manera que:

$$R = R^{IV} + R'' = 17,53 + 32,3 = 49,83 \Omega$$

que por comodidad podemos escribir $R = 50 \Omega$, que es prácticamente lo mismo. Por lo tanto, la intensidad de la corriente eléctrica total será:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100}{50} = 2 \text{ Amp.}$$

Para terminar y completar este tema: Si tuviésemos que calcular la intensidad de la corriente que atraviesa r_2 , ¿cómo procederíamos?

Veamos cuáles son los valores que conocemos; por lo pronto, conocemos su valor óhmico, pero no podemos calcular la intensidad de la corriente que lo atraviesa por desconocer la caída de voltaje que se produce en sus extremos, de manera que tenemos que calcularla. Vimos que r_2 no estaba solo en el circuito, sino que está en paralelo con dos resistencias en serie que son r_1 y R' (fig. 43), de manera que reducido r_1 y R' a la resistencia R''' , llegá-bamos al valor de R^{IV} que era precisamente la equivalente de r_2 con R''' en paralelo. Analizando ahora la figura 44, vemos que por R^{IV} pasa la corriente total del circuito de manera que conociendo la intensidad que atraviesa R^{IV} que es la intensidad de la corriente total y el valor de dicha resistencia, podemos calcular la caída de voltaje que se produce sobre ella de manera que llamando e' a dicha caída de voltaje tendremos:

$$e' = I \times R^{IV} = 2 \times 17,53 = 35,06 \text{ Volt aprox.}$$

Esto quiere decir también, que entre los extremos de r_2 se produce una caída de voltaje igual a 35,06 Volt, por lo cual ya estamos en condiciones de calcular la intensidad de la corriente que atraviesa r_2 .

Llamando i_2 a esa corriente tendremos:

$$i_2 = \frac{e'}{r_2} = \frac{35,06}{30} = 1,05 \text{ Amp.}$$

es decir, que por la resistencia r_2 pasarán 1,05 Amp. y el resto, o sea la otra parte de intensidad de la corriente total pasará por la rama formada por r_1 y r_3 r_4 que, una vez calculada, debería ser de 0,95 Amp.

15a. LECCION

Cantidad de Electricidad, Potencia y Energía Eléctrica

LEY DE JOULE

Cantidad de electricidad. — Puede definirse cantidad de electricidad la cantidad de amperes que pasan o se almacenan en un conductor durante un segundo. De manera general podemos escribir la fórmula que nos da la definición de cantidad de electricidad. Si llamamos " Q " a dicha cantidad de electricidad e " I " a la intensidad de la corriente y " t " al tiempo, podemos escribir:

$$Q = I \times t \dots\dots\dots (9)$$

La unidad de la cantidad de electricidad es el "Coulomb" en honor

del físico francés Carlos A. Coulomb, que fué quien estudió los fenómenos originados por la atracción y repulsión de cargas eléctricas y campos magnéticos. De manera que un Coulomb es la unidad de carga eléctrica.

Se dice que se ha entregado una cantidad de electricidad igual a un Coulomb, en un circuito eléctrico, cuando por ese circuito ha pasado una intensidad de corriente igual a un Ampere en un segundo.

Con un ejemplo aclararemos estas ideas. Supongamos que para cargar un condensador (*) se ha hecho pasar por el circuito de carga una intensidad de corriente de 2 Amp. y que la carga haya durado 5 segundos. Si aplicamos la fórmula (9) tendremos:

$$Q = I \times t = 2 \times 5 = 10 \text{ Coulomb.}$$

Podrán ver los lectores la importancia que tiene esta fórmula cuando estudiemos en particular los circuitos de Radio donde actúen condensadores. Un ejemplo clásico por lo conocido, cuando se habla de carga de acumuladores, es el siguiente: Cuando se carga un acumulador, la operación se hace a un régimen que depende del tipo de acumulador. Supongamos que nuestro acumulador es del tipo que necesita un régimen de carga de 5 Amp.-hora. Veamos qué cantidad de electricidad se entrega al acumulador para la carga, esto es, qué cantidad de Coulomb. Un Coulomb es igual a un Ampere por segundo; pero nosotros tenemos 5 Amp. y una hora; por lo tanto, tenemos que reducir la hora a segundos. Como una hora tiene 60 minutos y el minuto 60 segundos, tendremos:

$$1 \text{ hora} = 60 \times 60 = 3.600 \text{ segundos,}$$

es decir, que una hora tiene 3.600 segundos. Aplicando la fórmula (9) resulta:

$$Q = I \times t = 5 \times 3.600 = 18.000 \text{ Coulomb.}$$

es decir, que para cargar dicho acumulador se le entrega 18.000 Coulomb por hora.

POTENCIA Y ENERGIA ELECTRICA

Hasta el momento solamente habíamos hablado de las distintas unidades eléctricas sin mencionar el "Watt". Explicaremos su significado: el Watt es la unidad de energía eléctrica que nos indica la cantidad que está en juego en el circuito, y por lo tanto nos da una idea de la energía que se desarrolla en el mismo. Cuando una corriente eléctrica atraviesa una resistencia produce una caída de voltaje, dando origen a que se desarrolle una energía eléctrica en dicha resistencia; prueba de ello es que la resistencia se calienta. También se ve que intervienen varios factores, como ser la caída de voltaje, la intensidad de la corriente y la resistencia, pero está claro que se destacan los dos primeros, pues son los factores activos del circuito. Por eso cuando nos referimos a la potencia o energía eléctrica, la escribimos en la siguiente manera:

$$W = E \times I \dots\dots\dots (9)$$

donde W, es la potencia o energía eléctrica; E es la fuerza electro-motriz aplicada al circuito o la caída de voltaje en ciertos casos. I, es la intensidad de la corriente eléctrica que atraviesa el circuito. Si por ejemplo en un circuito como el de la figura 35 la f.e.m. es 2 V. y la intensidad de la corriente es 0,6 Amp., se dice que la energía entregada a la resistencia R es, aplicando la fórmula (9):

$$W = E \times I = 2 \times 0,6 = 1,2 \text{ Watt}$$

por lo que vemos, se ha entregado a la resistencia R una energía eléctrica de 1,2 Watt.

Otro: Se desea saber cuál es la potencia eléctrica que desarrolla un generador que puede entregar al circuito una f.e.m. de 440 Volt a una intensidad de corriente de 10 Amp. Aplicando la fórmula (9):

$$W = E \times I = 440 \times 10 = 4.400 \text{ Watt.}$$

(*) Oportunamente veremos qué es un condensador.

Repetimos: cuando una corriente fluye por un circuito se produce una caída de potencial; por lo tanto, se ha desarrollado una determinada energía eléctrica; esa energía se expresa en Watts, de donde tenemos la relación que Watt igual a la caída de voltaje por amperes.

La energía a que nos referimos puede aparecer en forma de calor, como ocurre en un calentador eléctrico y 1 Watt es equivalente a la producción de calor en la proporción de 0,24 calorías por segundo.

Una estufa eléctrica, si toma 10 Amp. a 240 Volt, consume o absorbe 2.400 Watts, o sea 2,4 Kilowatts.

Un bobinado de un electroimán de un altoparlante, es atravesado por una corriente de 0,15 Amp. a 110 Volt; la potencia absorbida por éste, $110 \times 0,15 = 16,5$ Watt.

La fórmula (9) puede tener dos formas distintas y aplicarse para casos particulares. Por ejemplo, en muchos motores se lee en la chapita de las características de éste 700 Watt a 220 Volt; cuando se trata de instalarlo, es necesario conocer cuál es la corriente que lo atraviesa. De la fórmula (9) se deduce la intensidad cuando se conoce el voltaje y la potencia eléctrica que desarrolla.

$$I = \frac{W}{E} = \dots\dots\dots (10)$$

Aplicando dicha fórmula a nuestro ejemplo, tenemos:

$$I = \frac{W}{E} = \frac{700}{220} = 3,18 \text{ Amp.}$$

Esta fórmula tiene otras aplicaciones a la Radio, que veremos muy pronto.

Otra forma de la fórmula (9) es la siguiente:

$$E = \frac{W}{I} \dots\dots\dots (11)$$

que se aplicaría en casos como el anterior pero donde nos interesa conocer la f.e.m. o la caída de tensión cuando conocemos la potencia eléctrica que se desarrolla y la intensidad de la corriente.

Para facilitar los cálculos en la práctica insertamos el Abaco N.º 3 que nos da la relación entre Watt, Volt y Ampere. Se opera con dicho ábaco en la misma forma que se explicó para el Abaco N.º 1.

EFECTO JOULE

Cuando un cuerpo (conductor, resistencia, etcétera), es recorrido por una corriente eléctrica, se desarrolla en él calor, que si no se desvanece inmediatamente, eleva la temperatura del cuerpo. Es decir, que si una resistencia R está atravesada por una corriente eléctrica se desarrolla una energía que se manifiesta en forma de calor. En el caso de los conductores, este calor debe ser disipado tan pronto como se produzca, debiendo colocarse los conductores en lugares de fácil circulación de aire, so pena de deteriorarse la aislación de los mismos o de algo más grave.

La potencia eléctrica que se transforma en calor es tanto mayor cuanto mayor es la resistencia intercalada y la intensidad de la corriente eléctrica. La fórmula que sirve de base para estos cálculos es la llamada fórmula de la Ley de Joule y que viene dada por:

$$W_j = I^2 \times R \dots\dots\dots (12)$$

donde W_j es la energía eléctrica transformada en calor; I, la intensidad de la corriente, y R, la resistencia del circuito en el cual se desarrolla calor.

De la fórmula (12) vemos que para una intensidad de corriente determinada, cuando mayor es la resistencia del condensador, mayor será la pérdida de energía (porque aumenta también la pérdida de voltaje). Si supo-

nemos que la resistencia R del circuito sea igual a cero: entonces si R vale cero, cero multiplicado por cualquier valor que pudiera tener I dará por resultado cero; este resultado indica que el conductor no se calienta y por lo tanto, que no se producen pérdidas en él. Pero este caso en la práctica no puede presentarse; por lo tanto debemos saber calcular los circuitos de tal manera que el calor que pueda desarrollarse sea el menor posible. En radio, este detalle tiene una importancia muy grande y es por esta razón que estudiaremos la Ley de Joule con amplitud. Tratándose de energías eléctricas que, en este caso se transforman en calor, podríamos usar también como unidad el Watt. Veamos un ejemplo: Sea R la resistencia de un calentador cuyo valor es 110Ω y la corriente que lo atraviesa 4 Amp . ¿Cuál será la potencia que se transforma en calor? Aplicando la fórmula (12) tenemos:

$$W_j = I^2 \times R = I \times I \times R = 4 \times 4 \times 110 = 1760 \text{ Watt}$$

Para que resulte general para todas las aplicaciones en la Radio, veamos la figura 31 de la Lección XI, donde tenemos que conectar una resistencia r_a en serie con cinco válvulas. Se recordará que dicha resistencia absorbía parte de la caída de voltaje del circuito y por lo tanto se desarrollaba en él una energía tal que se transforma en calor. Por lo tanto, la energía que se gasta en las válvulas es aprovechada, mientras que la que se gasta en r_a se pierde disipándose en forma de calor. Pues bien; en dicho circuito la potencia total entregada es: (recordemos la fórmula (9):

$$W = E \times I = 220 \times 0,3 = 66 \text{ Watt}$$

De estos 66 Watt entregados al circuito, una parte se aprovechará y otra se perderá en forma de calor; veamos cómo:

Si queremos calcular la potencia útil en las válvulas, tenemos que conocer la caída de voltaje que el conjunto de las 5 válvulas produce y que se obtiene sumando las caídas parciales, recordemos:

$$e_v = 56,4 \text{ V.}$$

Como la intensidad de la corriente que la atraviesa es $I = 0,3 \text{ Amp}$., tenemos, recordando la (9) y llamando W_v la energía gastada:

$$W_v = e_v \times I = 56,4 \times 0,3 = 16,92 \text{ Watt}$$

Mientras que en la resistencia r_a se pierde, según la fórmula (12).

$$W_j = I^2 \times r_a = I \times I \times r_a = 0,3 \times 0,3 \times 545 = 49,05 \text{ Watt}$$

Esto nos dice que de los 66 Watt sólo se aprovechan cerca de 17 Watt mientras se pierden casi 50 Watt. Este caso, aunque parezca inverosímil, sucede en todos los receptores de cinco válvulas de ambas corrientes o de corriente continua que trabajan con 220 Volt.

La fórmula de la Ley de Joule ha permitido construir resistencias para los aparatos radiotelefónicos y telegráficos en el menor tamaño y con la máxima disipación de calor. Veamos cómo se calculará una resistencia a usarse en un receptor para que ésta no se deteriore por calentamiento. Sea una resistencia de carbón del tipo usado en Radio de 10.000Ω . 1 Watt. Veamos si puede emplearse ésta en un circuito tal que por la resistencia pasen 5 m A. , o sean $0,005 \text{ Amp}$.

$$W_j = I^2 \times R = 0,005 \times 0,005 \times 10000 = 0,25 \text{ Watt}$$

o sea que el calor que se puede desarrollar es de un cuarto de Watt. Como ésta ha sido construída para disipar 1 Watt, vemos que no hay ningún inconveniente en utilizarla.

Si tuviéramos que comprar la resistencia r_a del ejemplo de la figura 31, ¿cómo la calcularíamos? Si la corriente que la atraviesa es de $0,3 \text{ Amp}$. y el valor de la resistencia es de 545Ω , se tiene:

$$W_j = I^2 \times R = 0,3 \times 0,3 \times 545 = 49 \text{ Watt aprox.}$$

es decir, que al comprar dicha resistencia debemos pedir una resistencia de 545 Ohm y que disipe por lo menos unos 50 Watt.

Aplicaciones Generales de todas las Leyes estudiadas y aplicadas a la Radiotelefonía

1. — Sea la figura 45 donde se indica un circuito cuya resistencia R se quiere calcular. Dicha resistencia es usada para trabajar con la válvula de manera que depende del valor de la resistencia que dicha válvula trabaje correctamente. En las características de las válvulas que facilita el fabricante, se indica que la resistencia R debe producir una caída de voltaje de 13 volt para una corriente que atravesará la válvula y la resistencia de 8 mA (0,008 Amp.); entonces podemos calcular, utilizando la fórmula de Ohm para calcular las resistencias:

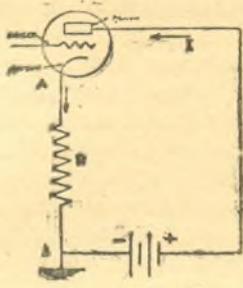


Fig. 45

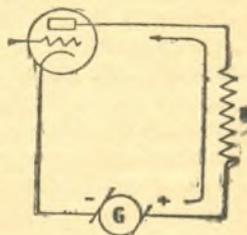


Fig. 46

$$R = \frac{E}{I}$$

O sea

$$R = \frac{13}{0,005} = 2600 \Omega$$

2. — Vemos en la figura 46 en la cual el generador G que alimenta el circuito de placa produce una fuerza electro-motriz tal que perjudica a la válvula. Si la característica de la válvula es tal que en condiciones normales de trabajo necesita una f.e.m. de 250 V. y una intensidad de 0,04 Amp. (40 mA) y el generador produce 300 V. a un régimen normal, tenemos que calcular una resistencia R tal que absorba la diferencia y evite el deterioro de la válvula. Si la diferencia de voltaje entre el generador y el voltaje de trabajo de la válvula es de 50 Volt y la intensidad de la corriente 0,04 Amp., podemos calcular fácilmente la resistencia R .

$$R = \frac{E}{I} = \frac{50}{0,04} = 1250 \Omega$$

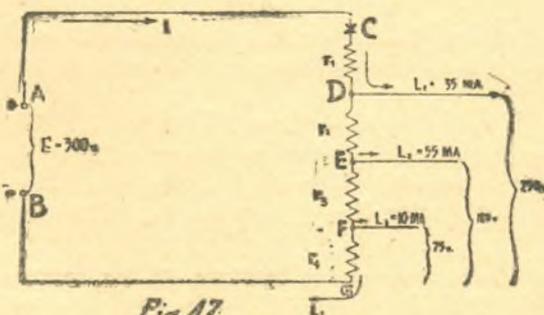


Fig. 47

Puesto que dicha resistencia R se calentará, ¿cuál será el "wattaje" que disipará el calor?

$$W_i = I_2 \times R = 0,04 \times 0,04 \times 1250 = 2 \text{ Watt}$$

3. — **Divisores de voltaje.** — Si tenemos la salida de un sistema de filtros cuyas bornas son A y B (fig. 47), que suministra energía eléctrica, pongamos por caso, a un receptor que necesita voltaje de 250 volt a 35 MA; 180 volt a 55 MA y 75 volt a 10 MA. ¿Cómo podríamos arreglarnos si en los puntos A y B tenemos solamente un voltaje (f.e.m.) de 300 volt? Sabemos, por lo que hemos visto en lecciones anteriores, que si conectamos varias resistencias en serie se produce entre los extremos de cada una de ellas una caída de voltaje determinado. Pues bien; si calculamos debidamente unas resistencias tales como las de la figura 47 donde r_4 produzca una caída de voltaje de 75 volt; entre r_3 y r_4 de 180; entre r_4 , r_3 y r_2 de 250 volt y r_1 que absorba la diferencia entre 300 y 250 volt, tendremos el problema fácilmente resuelto (*). Procedamos a resolverlo empezando por r_1 , pues es la primera que encuentra la intensidad de la corriente. Dijimos que cada voltaje asumirá el valor indicado para una intensidad de corriente también determinada, de manera que por r_1 tendrá que pasar la corriente i_1 de 35 m. A.; i_2 de 55 m. A.; i_3 de 10 m. A.; i_4 cuyo valor conviene fijar, porque, si no, sería imposible realizar rápidamente los cálculos. Dicha intensidad i_4 es la intensidad que se podría llamar de drenaje, pues se produce por el hecho de cerrar el circuito por medio de una serie de resistencias de manera que es una intensidad de corriente que no se aprovecha, pero en cambio calienta las resistencias que atraviesa; por esta razón conviene que ésta sea lo más baja posible. Sea, por ejemplo: $i_4 = 5$ m. A. (0,005 Amp.), de manera que ya conocemos cuál será la intensidad de la corriente que atraviesa r_1 que es igual a:

$I = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 35 + 55 + 10 + 5 = 105$ m. A. o sea 0,105 Amp. de manera que podemos calcular r_1 , puesto que sabemos que entre sus extremos C y D se produce una caída de voltaje $e_1 = 50$ V. entonces

$$r_1 = \frac{e_1}{I} = \frac{50}{0,105} = 476 \Omega \text{ aprox.}$$

Calculemos ahora el valor de r_2 ; por r_2 ya no pasará la intensidad de la corriente de i_1 pues ésta se ramifica y retorna al negativo por otro camino. De manera que por r_2 solamente pasará la corriente de i_2 i_3 i_4 o sea, llamando I' a dicha corriente:

$$I' = i_2 + i_3 + i_4 = 55 + 10 + 5 = 70 \text{ m. A. (0,07 Amp.)}$$

¿Cuál será la caída de voltaje que se produce sobre r_2 o sea entre los puntos D y E? Sabemos que entre D y G la caída es de 250 Volt y entre E y G 180 Volt, de manera que la caída de voltaje entre D y E tiene que ser de $250 - 180 = 70$ V.

Llamemos a esta caída $e_2 = 70$ V. Entonces

$$r_2 = \frac{e_2}{I'} = \frac{70}{0,07} = 1000 \Omega$$

Calculemos ahora r_3 . La intensidad de corriente que atraviesa a dicha resistencia es la i_3 y la i_4 de manera que si llamamos I'' a dicha corriente tenemos:

$$I'' = i_3 + i_4 = 10 + 5 = 15 \text{ m. A. (0,015 Amp.)}$$

Pero para poder calcular r_3 tendremos que calcular la caída de voltaje, pues solamente conocemos la intensidad de la corriente que lo atraviesa. Sabemos que entre los puntos E y G la caída de voltaje es de 180 V. y entre

(*) La fig. 47 nos muestra los retornos de las corrientes derivadas, pero se supone que después de recorrer la carga respectiva vuelve al polo negativo común.

F y G de 75 V. por lo tanto, la caída de voltaje E y F debe ser la diferencia o sea, llamando e_3 a dicha caída de voltaje.

$$e_3 = 180 - 75 = 105 \text{ Volt}$$

siendo $I'' = 0,015 \text{ Amp.}$

el valor de r_3 será:

$$r_3 = \frac{e_3}{I''} = \frac{105}{0,015} = 7.000 \Omega$$

Por último, nos queda por calcular el valor de la resistencia r_4 .

La única intensidad de corriente que lo atraviesa es la que hemos fijado para i_4 , o sea 5 m. A. (0,005 Amp.), y como la caída de voltaje entre F y G necesariamente debe ser de 75 V. y llamando e_4 a dicha caída de voltaje e I''' a la intensidad de la corriente, tenemos:

$$r_4 = \frac{e_4}{I'''} = \frac{75}{0,005} = 15.000 \Omega$$

No debemos olvidar que los valores calculados para las cuatro resistencias son exactos para condiciones tales que las intensidades de las corrientes sean estrictamente las indicadas.

Estos tipos de resistencias se conocen con el nombre de divisores de voltaje, nombre muy apropiado. Se podrá construir una resistencia de este tipo con cuatro del valor calculado en lugar de una sola con derivaciones como las que se venden en el comercio. Ahora bien; supongamos que formamos la divisora de voltaje con cuatro resistencias con los valores ya calculados. Veamos:

$$r_1 = 476 \Omega \text{ y es atravesado por una intensidad } I = 0,105 \text{ Amp.}$$

$$r_2 = 1000 \text{ " " " " " " " " } I' = 0,07 \text{ "}$$

$$r_3 = 7000 \text{ " " " " " " " " } I'' = 0,015 \text{ "}$$

$$r_4 = 15000 \text{ " " " " " " " " } I''' = 0,005 \text{ "}$$

Como tenemos todos los datos para calcular la energía que se disipa en calor, veamos cuál es para cada resistencia.

$$\text{para } r_1 - W_j' I^2 \times r_1 = 0,105 \times 0,105 \times 476 = 5,25 \text{ Watt}$$

$$\text{" } r_2 - W_j'' I_1^2 \times r_2 = 0,07 \times 0,07 \times 1000 = 4,9 \text{ Watt}$$

$$\text{" } r_3 - W_j''' I_2^2 \times r_3 = 0,015 \times 0,015 \times 7000 = 1,575 \text{ Watt}$$

$$\text{" } r_4 - W_j^{IV} I_3^2 \times r_4 = 0,005 \times 0,005 \times 15000 = 0,375 \text{ Watt}$$

De aquí podemos sacar una conclusión con respecto a la Ley de Joule y es la siguiente: aunque la resistencia aumente mucho en valor, si la intensidad de la corriente es débil, el calor desarrollado en la resistencia es pequeño.

ABACO N.º 2

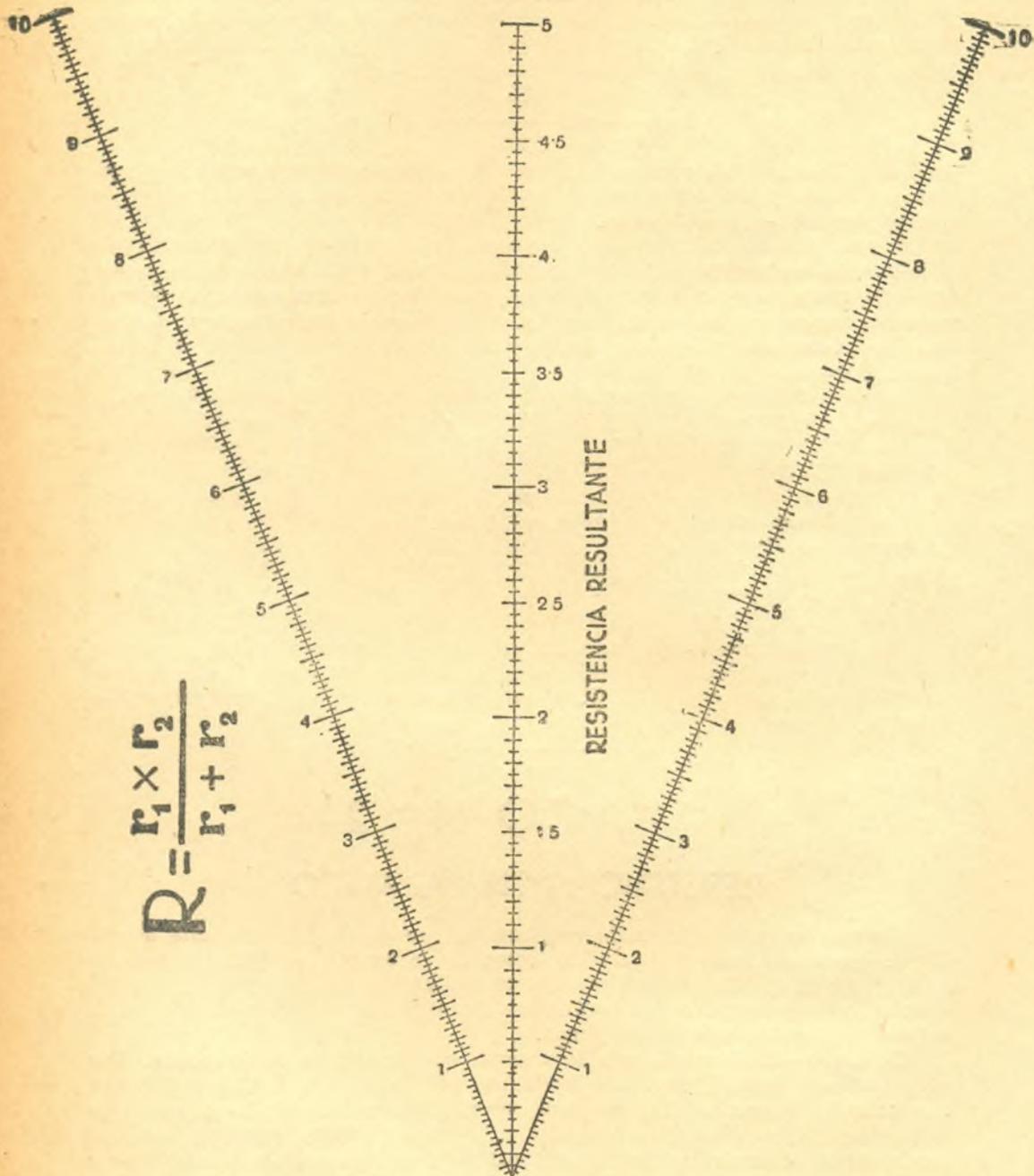
RESISTENCIAS EN PARALELO

Cuando se tiene el caso de una batería que suministra corriente a través de dos resistencias en paralelo, como se ve en la figura 34, es posible encontrar una resistencia tal que sea equivalente a las dos resistencias del circuito, y la prueba de esta equivalencia consiste en que en ambos casos la batería entrega la misma corriente.

El ábaco está formado por tres rectas que se cortan en un punto. Las dos exteriores están igualmente inclinadas con respecto a la del centro que es vertical, y llevan escalas proporcionales. (Este es uno de los pocos casos en que se usan escalas proporcionales en lugar de escalas logarítmicas). La escala de la recta del centro, está construída de tal manera que al trazar una recta cualquiera a través del ábaco, la lectura de cada una de las escalas exteriores es igual al doble de la escala del centro. Así, por ejemplo, si

r_1 y $r_2 = 4$ Ohms, será = 2 Ohms. Se observa que, cualquiera que sea la posición en que se coloque la regla, la lectura correspondiente a la escala del centro, es siempre menor que la correspondiente a la de cualquiera de los extremos; esto es muy natural, puesto que la segunda resistencia actúa como un shunt con respecto a la primera, permitiendo que fluya el exceso de corriente, y por lo tanto se obtendrá una resistencia equivalente menor.

ABACO N.º 2

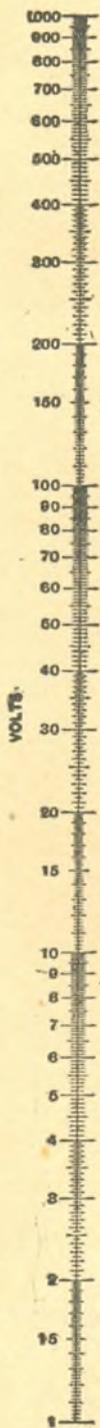


$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2}$$

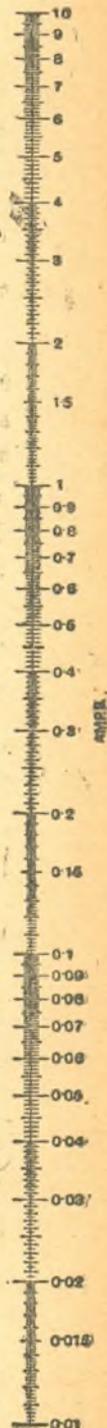
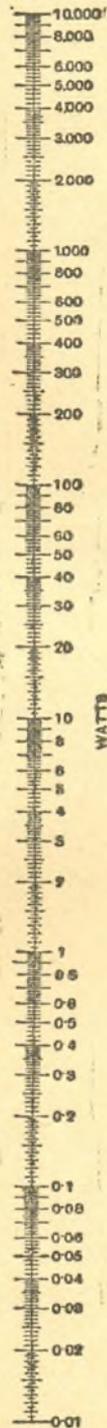
DOS RESISTENCIAS
EN PARALELO

ABACO N.º 3

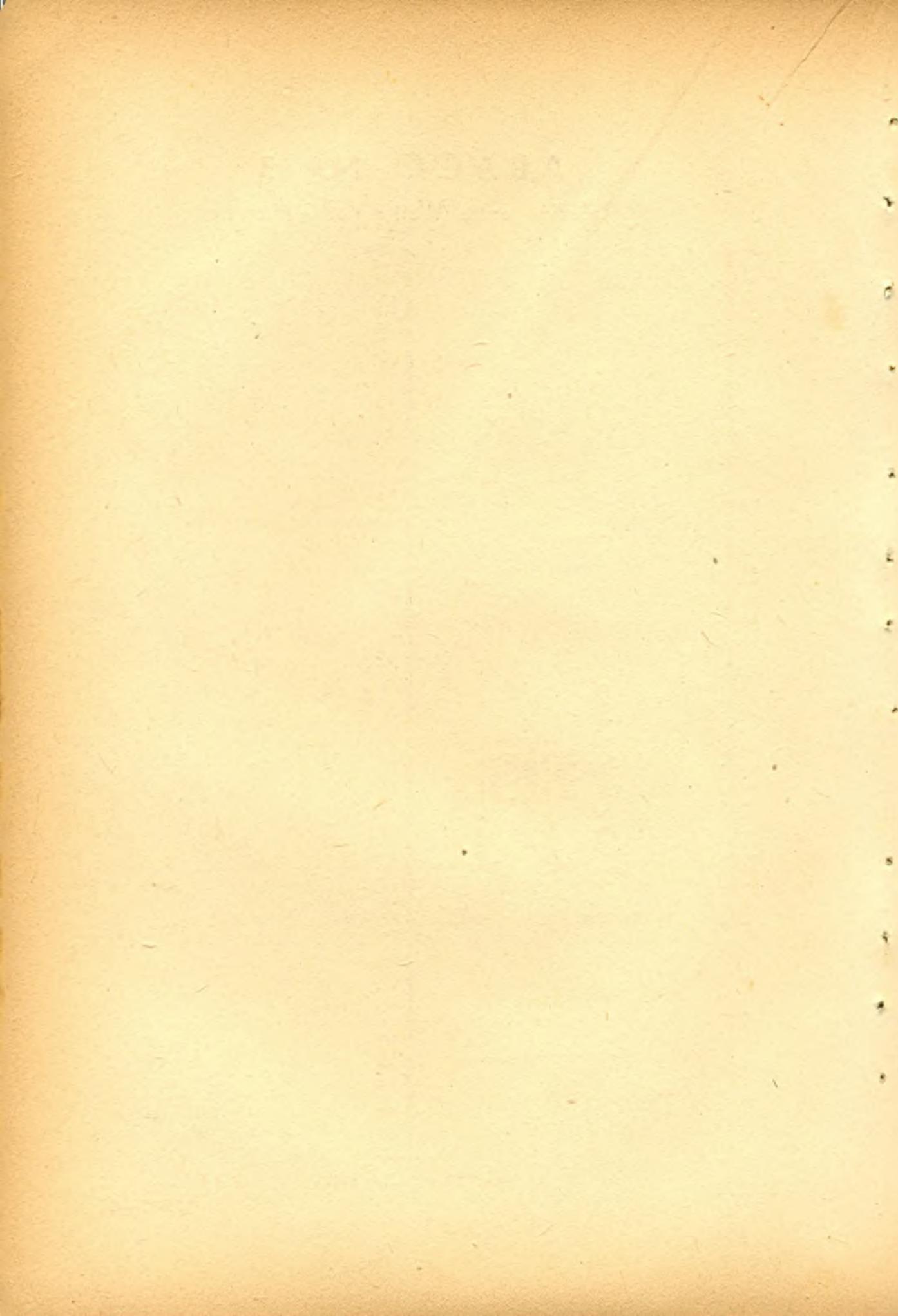
Relación entre Watt - Volt - Ampere



$$\begin{aligned} \text{Watt} &= \text{Volt} \times \text{Amp.} \\ \text{Amp.} &= \frac{\text{Watt}}{\text{Volt.}} \\ \text{Volt.} &= \frac{\text{Watt}}{\text{Amp.}} \end{aligned}$$



WATTS - VOLTS x AMPS.



17a. LECCION

DIFERENCIAS ENTRE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNADA

En las cuatro últimas lecciones habíamos hablado sobre leyes, fenómenos y efectos de la corriente eléctrica, sin especificar, o mejor dicho, sin preocuparnos aparentemente del tipo de corriente que atravesaba el circuito. Habíamos dejado bien establecido que la corriente partía de un polo y se dirigía hacia el otro y así constantemente mientras se entregara energía eléctrica al circuito.

Cuando la corriente eléctrica que fluye desde una fuente de f.e.m. a través de un circuito, tiene siempre una misma dirección, se la llama **Corriente Continua**; es decir, que si suponemos que la corriente parte de un polo y se dirige por el circuito al otro, atraviesa la fuente de f.e.m. para volver al circuito y así "continuamente".

Este tipo de corriente eléctrica, lo suministran las pilas eléctricas y acumuladores.

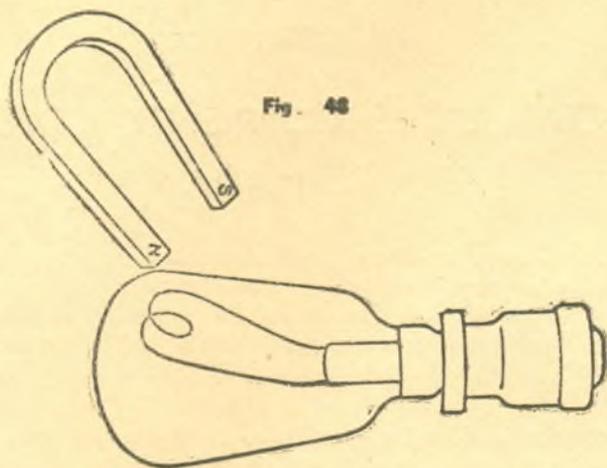
Veremos más tarde que los generadores o dinamos que suministran corriente continua, producen una corriente muy parecida a la de las pilas, acumulador, etc., que en la práctica no presentan diferencia.

Aclarado, pues, el concepto de corriente continua, pasemos a estudiar un nuevo tipo de corriente, tal, que partiendo de una fuente de f.e.m. por uno de sus polos llega al otro y después, en lugar de atravesar la fuente de f.e.m. y salir por el primitivo vuelve por el que ha entrado repitiéndose este fenómeno tantas veces por segundo, según el tipo de fuente de f.e.m. Recordando que la dirección de la corriente depende del camino que tomen los electrones, y que si éstos parten de un punto y se dirigen hacia otro, es porque dicho punto es de carga eléctrica distinta; de esto se desprende que si los electrones, después de haberse dirigido a la fuente de f.e.m. vuelven por el mismo camino en lugar de atravesarla, es porque por un medio cualquiera, que veremos más adelante, se ha cambiado el signo de carga eléctrica del punto de partida primitivo, porque de otra manera no se explicaría este fenómeno. Antes de proseguir, diremos que a este tipo de corriente se le llama **Corriente Alternada**, por el hecho de que se alterna el sentido de la corriente.

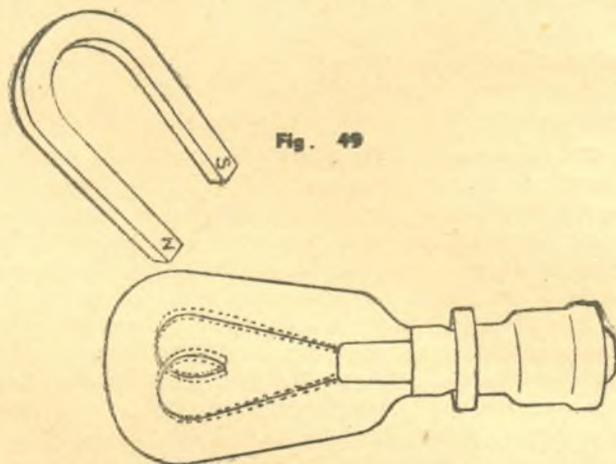
Este tipo de corriente solamente se obtiene en los alternadores (generadores de corriente alternada) y en ciertos circuitos de Radio (osciladores, vibradores, etc).

Veamos cómo pueden identificarse estos tipos de corriente en el hogar. Si en lugar de una lámpara común (filamento metálico), de luz eléctrica, atornillamos en su lugar una del tipo de filamento carbónico; si una vez que hacemos pasar la corriente por ella y acercamos un imán, veremos que el filamento se desvía de su posición normal para tratar de acercarse al imán; esto quiere decir, que la corriente, al atravesar el filamento de la lámpara eléctrica produce un campo magnético tal que es susceptible de ser atraído por un imán. Si tal cosa acontece, quiere decir que la corriente que atraviesa el filamento, es corriente continua (fig. 48). Pero si en lugar de su-

ceder lo descrito ocurriese lo de la figura 49, que al acercarse el imán a la ampolla de la lámpara eléctrica, el filamento comienza a vibrar, entonces la corriente que atraviesa el filamento, es corriente alternada, y la vibra-



ción del filamento se debe a que la corriente, al cambiar de sentido, induce en cada uno de ellos un polo distinto dando origen a que, cuando la corriente tiene un sentido, el filamento sea atraído por el imán y en sentido contrario



rechazado. Siendo las vibraciones del filamento concordantes con los cambios de sentido de la corriente.

GENERACION DE LA FUERZA ELECTRO-MOTRIZ

CORRIENTE INDUCIDA

Vimos en la cuarta lección, que una corriente eléctrica (corriente de electrones) que circula a través de un condensador o un solenoide da origen a un campo magnético, según vimos en las lecciones 4a. y 5a. (figuras 12, 13 y 14).

En el año 1831, el físico inglés Miguel Faraday descubrió que cuando un conductor se mueve dentro de un campo magnético, se produce una corriente inducida en el conductor. Este mismo fenómeno se observa si en

lugar de moverse el conductor se desplaza el campo magnético cerca del conductor.

El descubrimiento de este fenómeno dió un impulso tan grande a la generación de energía eléctrica, que la vemos hoy transformada en inmensas superusinas que suministran energía eléctrica a ciudades enteras por medio de gigantescos generadores. Así como también el descubrimiento de este fenómeno dió origen a nuevas leyes en la electrotécnica y las aplicaciones del descubrimiento debido a Faraday, ha dado origen a lo que es hoy la Radio. Faraday observó que, si en lugar de ser un conductor rectilíneo fuese una o más espiras cerradas, dicho fenómeno de inducción era más intenso. Esto mismo fué observado y publicado casi simultáneamente por José Henry.

Vamos a explicar cómo se produce el fenómeno de la Inducción Magnética.

Veamos la figura 50.

Vimos, al estudiar la teoría electrónica, que los electrones de un cuerpo podían ser desviados de su trayectoria si se los sometía en un campo magnético.

Pues bien: si acercamos un imán al alambre que nos sirve de conductor

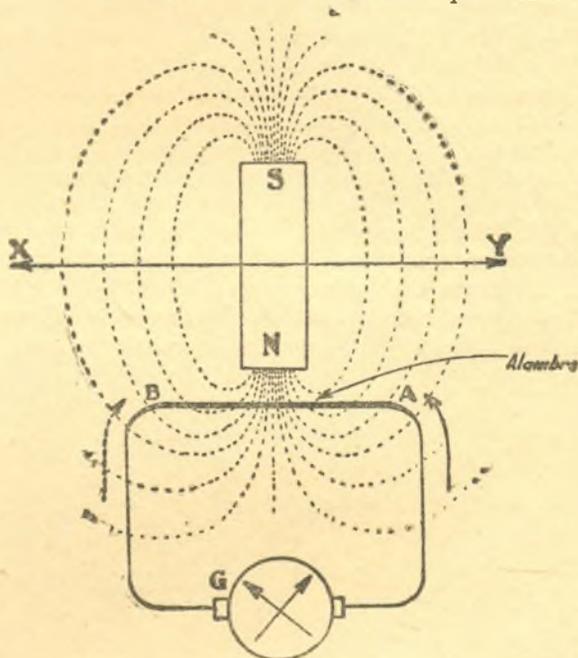


Fig. 50

y se cierra el circuito por medio de un galvanómetro "G", veremos que dicho instrumento nos indicará que en el mismo instante de acercar el imán al conductor se ha producido el pasaje de una corriente. Lo que ha sucedido es que el imán atraerá o rechazará los electrones (según el polo enfrentado) haciendo que los electrones desviados de sus posiciones sean reemplazados por otros en el mismo cuerpo (conductor). Y ¿qué sucede? Si recordamos lo que dijimos en la lección octava, veremos que por el hecho de producirse un desequilibrio en la parte del cuerpo, los electrones tratarán de restablecer el equilibrio, dando origen a un desplazamiento de electrones. Y ¿qué es un desplazamiento de electrones? Pues una corriente eléctrica, que es la acusada por el galvanómetro "G".

Si dejamos el imán quieto y sin mover el alambre ¿qué sucederá? Pues una vez que el imán se ha acercado al conductor, produjo el fenómeno des-

cripto; pero si dejamos todo quieto, los electrones tendrán una posición determinada, pero de equilibrio aparente, es decir, que no se notará pasaje alguno de corriente. Pero ¿qué sucederá si retiramos el imán? Pues que los electrones tratarán de volver a su estado primitivo de equilibrio, por lo cual lógicamente se producirá una corriente electrónica, pero en sentido contrario al caso anterior. Pues si suponemos que el imán en el primer caso atrae a los electrones, la corriente tendrá el sentido de la flecha A (figura 50), y cuando se retira el imán, cesa la influencia de su campo magnético; por lo tanto, los electrones para restablecer el equilibrio han tenido que hacerlo en el sentido contrario o en el de la flecha B.

A dicha corriente producida por la influencia de un campo magnético en movimiento o intensidad de campo variable, se llama **Corriente Inducida**.

Si aceptamos que se produce una corriente inducida, pues podemos demostrarlo experimentalmente, lógicamente en el circuito formado por el conductor, se ha desarrollado una fuerza electrónica inducida (que es la que da origen a la corriente), de manera que podemos decir que se ha desarrollado una energía eléctrica inducida y que estaría dada por el producto de la f.e.m. por la intensidad de la corriente inducida.

Por lo pronto, vemos que se puede generar una energía eléctrica sin intervención de pilas ni baterías, etc. En este principio se basa el funcionamiento de los generadores de energía eléctrica, como veremos más tarde.

Si el imán de la figura 50 lo movemos en la dirección de X a Y y de Y a X, paralelo al conductor, no notaremos ningún acuse de pasaje de corriente por el galvanómetro; en efecto, en cualquier posición sobre la trayectoria X- Y, el campo magnético influencia de la misma manera al conductor, de manera que los electrones no se mueven de una posición a otra: porque no varía la intensidad del campo magnético. Por lo pronto, vemos que para que se produzca una f.e.m. inducida, el campo magnético debe moverse perpendicular al conductor o el conductor debe moverse perpendicular a las líneas de fuerza del imán.

Dijimos que, si en lugar de ser un conductor recto el sometido al campo magnético del imán, fuese un solenoide, la corriente inducida sería más intensa, en efecto.

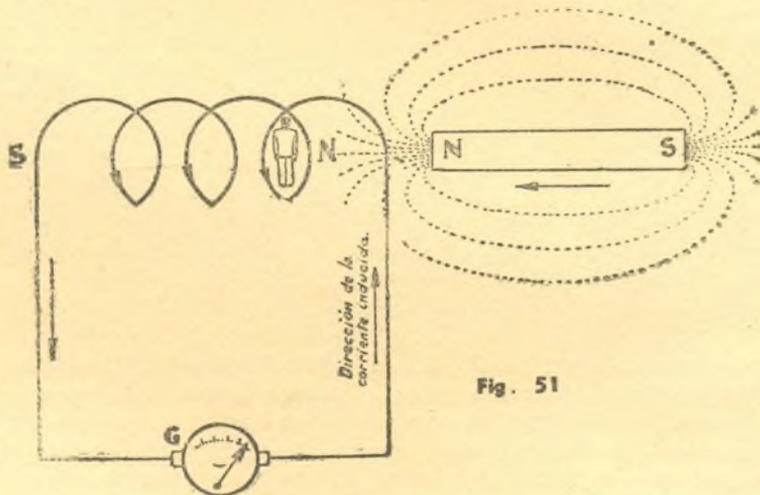


Fig. 51

Si observamos la figura 51, tenemos un solenoide y un galvanómetro cerrando el circuito de aquél. Además tenemos un imán que se desplazará de afuera hacia el interior del solenoide y vice-versa.

Si introducimos el imán dentro del solenoide, se produce el mismo fenómeno (en el solenoide) que en el caso del conductor. Es decir, que se produce una corriente inducida cuya dirección depende del polo enfrentado.

Pues bien; recordemos: ¿qué sucede cuando un solenoide es recorrido por una corriente? Pues éste se comporta como un imán, de manera que si el polo N. del imán es el polo inductor, inducirá un polo N. en el solenoide; por lo tanto, el sentido de los dos campos magnéticos, imán y solenoide, se rechazarán (moviendo el imán hacia el solenoide).

Más tarde explicaremos la causa.

Experimentalmente se verá, que cuanto mayor número de espiras tenga el solenoide, mayor será la f.e.m. inducida, debido a que el galvanómetro indica el pasaje de una intensidad de corriente inducida mayor, mientras que en un conductor recto la influencia de la longitud, gravita en el aumento de la f.e.m. inducida en menor proporción.

Volviendo a la figura 51: Si ahora retiramos el imán del solenoide, vemos que la aguja del galvanómetro se desvía en sentido contrario, es decir, que la corriente de electrones vuelve a su estado primitivo.

El experimento descrito fué realizado por Faraday, cuando demostró ante el público su descubrimiento. El cual puede ser realizado por los lectores si enrollan unas 500 espiras o más de alambre de cobre esmaltado sobre un tubo cuyo diámetro interior dé cabida libre al polo del imán con el cual se hará la experiencia.

Durante la experiencia se notará que si el movimiento del imán dentro del solenoide, o moviendo el solenoide de manera que contenga el imán, es lento, los movimientos de la aguja del galvanómetro son débiles y casi no se notan, pero en cambio, si los movimientos son bruscos, también lo serán las desviaciones de la aguja del galvanómetro, produciéndose las desviaciones de la aguja al mismo tiempo del movimiento del solenoide o del imán. Se imaginará el lector que si aumentamos el número de vaivenes del imán o del solenoide, más bruscas serán las variaciones, de manera que la f.e.m. inducida tendrá un valor más elevado.

Si aclaramos los conocimientos obtenidos de esta experiencia, podremos obtener una fórmula que nos dará el valor de la fuerza electromotriz inducida en un solenoide.

- 1) Vemos que si aumenta la intensidad del campo magnético inductor, también aumenta la f.e.m. inducida.
- 2) También vimos que la f.e.m. inducida podría aumentar de valor si se aumenta el número de espiras del solenoide.
- 3) También vimos que cuanto más brusco es el movimiento, mayor es también la f.e.m. inducida. De manera que dicho voltaje inducido depende de tres factores: de la intensidad del campo magnético (Φ), del número de espiras del solenoide (n) y del número de veces que en la unidad de tiempo (segundo) movemos el imán dentro del solenoide (ida y vuelta), de manera que la fórmula que da el valor de la fuerza electromotriz inducida, podemos escribirla de la siguiente manera:

$$\text{F.e.m. inducida} = \frac{\Phi \times n \times f}{t \times 10^8} \dots (13)$$

Siendo Φ la intensidad del campo magnético:

Φ Es una letra griega que se pronuncia como la "f" castellana y se llama "fi".

n — El número de espiras del solenoide.

f — La frecuencia, o sea el número de los vaivenes completos por segundo (el imán dentro del solenoide o viceversa).

t — El tiempo en segundos.

10^8 — Un factor que significa 10 multiplicado 8 veces por sí mismo, o sea $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ de manera que podemos escribir 100000000, donde vemos que la cifra consta de ocho ceros o

sea lo que indica el exponente; por esta razón para abreviar, se escribe 10^8 .

Veamos un ejemplo que aclare lo dicho, y de paso familiaricémonos con dicha fórmula (13).

Supongamos tener un solenoide de 500 espiras y que movemos un imán en su interior a razón de 50 vaivenes por segundo. Si la intensidad del campo del imán es de unas 50.000 líneas de fuerza magnética, ¿cuál será la f.e.m. inducida? Según la fórmula 13, tenemos:

$$\text{F.e.m. inducida} = \frac{\Phi \times n \times f}{t \times 10^8} = \frac{50.000 \times 500 \times 50}{1 \times 100.000.000} = 12,5 \text{ Volt}$$

Segundo ejemplo:

Si en lugar de $f = 50$ vaivenes fuesen 10, tendríamos:

$$\text{F.e.m. inducida} = \frac{50.000 \times 500 \times 10}{1 \times 100.000.000} = 2,5 \text{ Volt}$$

Tercer ejemplo:

Y sin el primer ejemplo, en lugar de tener 500 espiras tuviésemos 100 espiras:

$$\text{F.e.M. inducida} = \frac{50.000 \times 100 \times 50}{1 \times 100.000.000} = 2,5 \text{ Volt}$$

Donde observamos la enorme importancia que tienen para un mismo campo magnético el número de espiras del solenoide y el número de vaivenes por segundo.

En el segundo caso, con 500 espiras y 10 vaivenes por segundo obtuvimos 2,5 Volt inducidos en el solenoide y en el tercero obtuvimos el mismo voltaje inducido para un solenoide de 100 espiras, pero para un número de vaivenes mayor, o sean 50.

De aquí llegamos a una conclusión muy interesante: ¿qué harían los lectores si tuviesen una dinamo que a un régimen normal de revoluciones por segundo diese una fuerza electro-motriz inducida inferior a la deseada? Recordemos que este caso es similar al expuesto y además es imposible aumentar la intensidad del campo magnético, como así también imposible aumentar el número de espiras en las bobinas. La solución es fácil: ¿qué les parece si aumentamos el número de revoluciones por segundo? Pues justamente allí reside la solución.

LEY DE LENZ

Vimos, al estudiar la f.e.m. inducida en un solenoide, que el polo inducido, cuando se acercaba un imán, era del mismo signo que el polo del imán. ¿Cómo se explica esto? Pues sencillamente: El solenoide, cuando no está influenciado por ningún imán, tiene en equilibrio todos sus átomos, de manera que si se le acerca un imán, dichos átomos tratarán de evitar que se produzca cualquier desequilibrio, por lo cual la corriente inducida en el solenoide deberá tener un sentido tal que genere un campo magnético de sentido tal que se oponga a que el polo del imán enfrente influencie al solenoide. O, en otras palabras: Si acercamos un polo norte de un imán a un solenoide, se producirá en éste una f.e.m. inducida, la cual generará en el solenoide una corriente cuyo sentido produzca un polo norte que se oponga a que el imán se acerque al solenoide. (Ver Lección 4a., Vol. 1). (Dos polos del mismo nombre se rechazan).

Lo interesante de este fenómeno es que cuando se retira el imán en ese mismo costado del solenoide que antes era polo norte, se ha transformado en polo sud en el mismo instante en que la dirección del movimiento

del imán cambia, por lo cual vemos que se genera un polo contrario para oponerse a que el imán se retire.

Esto lo notamos en la aguja del galvanómetro "G" (fig. 51) que nos acusa un pasaje de corriente en sentido contrario al del caso de acercar el imán al solenoide. Estos fenómenos fueron observados por el físico Lenz, que los estudió detenidamente y fijó una ley que lleva su nombre, y dice lo siguiente:

La intensidad de la corriente inducida tiene un sentido tal, que se opone a la causa que lo produce.

Por lo cual, los lectores se darán cuenta de que esto es general y se cumple en todos los casos rigurosamente y que conviene tenerlo presente.

Esta ley nos da, por lo tanto, la dirección que en cada instante tiene la corriente inducida.

Si recordamos la ley de Ampère en la Lección 4a., que nos dice que: **EL POLO NORTE DE UN SOLENOIDE SE HALLA EN EL EXTREMO SITUADO A LA IZQUIERDA DE UN OBSERVADOR COLOCADO EN UNA ESPIRA CUALQUIERA DEL SOLENOIDE, DE MODO QUE LA CORRIENTE LE PENETRE POR LOS PIES Y SALGA POR LA CABEZA Y QUE MIRE HACIA EL INTERIOR DE ESTE** (fig. 12).

En el caso de la figura 51, ¿qué sentido tendrá la intensidad de la corriente inducida, si se genera un polo norte en el lado derecho del solenoide?; pues si repetimos la regla de Ampère dada, la intensidad de la corriente inducida estará dada por la flecha, y el sentido contrario, para el

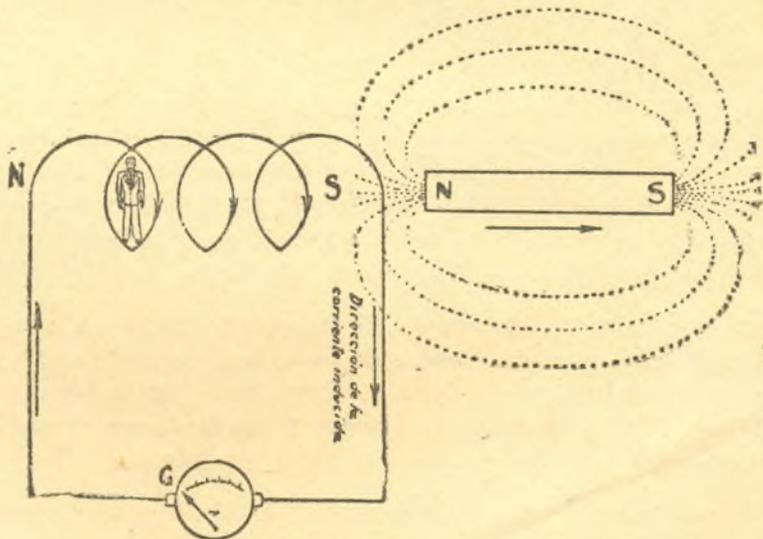


Fig. 52

caso de la figura 52. Por lo cual los lectores pueden darse cuenta de la importancia de la Ley de Lenz.

Tenemos que aclarar un concepto antes de proseguir. Cuando definimos la regla de Ampère, supusimos que la corriente eléctrica que atravesaba el solenoide, lo hacía desde el polo positivo. Pues bien; recordamos entonces que la corriente electrónica es precisamente de sentido contrario. Pero por lo pronto, los lectores se dan cuenta de que no hay posibilidad de error, si se recuerda constantemente que una corriente eléctrica es una corriente de electrones, etc.

18a. LECCION

CORRIENTE ALTERNADA

Ya hemos visto de qué manera se obtiene una f.e.m. inducida y repetimos que ésta puede inducirse en cualquier medio conductor, que esté expuesto a las variaciones del campo magnético.

También vimos que la variación del campo magnético es en cierto modo una manera de expresión general, pues si el campo magnético queda fijo y movemos un conductor en él, el efecto será el mismo; recordemos el caso que cuando estudiamos magnetismo dijimos que la atracción o repulsión entre dos polos magnéticos era directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias (Ley de Coulomb). Pues esta ley nos dice claramente que cuanto más lejos esté el polo magnético menor influencia produce, pero de una manera muy sensible: (puesto que es al cuadrado de la distancia). Quiere decir esto también que, si movemos una espira perpendicularmente a la dirección del campo magnético, veremos que a medida que nos alejamos del polo del imán, el campo magnético es más débil.

Si fijamos la espira y movemos el imán, el efecto es igual; pues bien; si por algún medio especial hacemos que la espira o el campo se mueva proporcionalmente al tiempo y haciendo que después de cada movimiento (rotación) vuelva por el mismo punto estaremos en condiciones de generar una f.e.m. variable que tendrá una forma determinada que pasaremos a estudiar en seguida, y que es la base del funcionamiento de los generadores en general y en particular los de corriente alternada.

Recordemos algunos conceptos: Si tenemos la figura 53, posición A, tenemos una espira que gira dentro de un campo magnético sobre su eje, de manera tal que en la posición A el plano de la espira es paralelo a la cara del imán. En la figura vemos que las líneas de fuerza magnética atraviesan el plano de la espira en una cantidad muy grande.

Si giramos la espira 45 grados, o sea la posición B, vemos que las líneas de fuerza que atraviesan el plano de la espira, es en un número bastante inferior.

Si hacemos girar dicha espira otros 45 grados, o sea 90 de la posición original, tendremos la posición C. Vemos que el plano de la espira es paralelo a las líneas de fuerza magnética, de manera que ninguna de éstas atraviesa el plano de la espira.

Veamos qué nos dice esto: Como el movimiento de la espira lo hacemos con el fin de observar cómo se induce una f. e. m. en la espira para distintas posiciones de ésta en el campo magnético, y si empezamos el movimiento de la espira en la posición de la figura 53 A, tenemos que la cantidad de líneas de fuerza magnética que atraviesan el plano de la espira

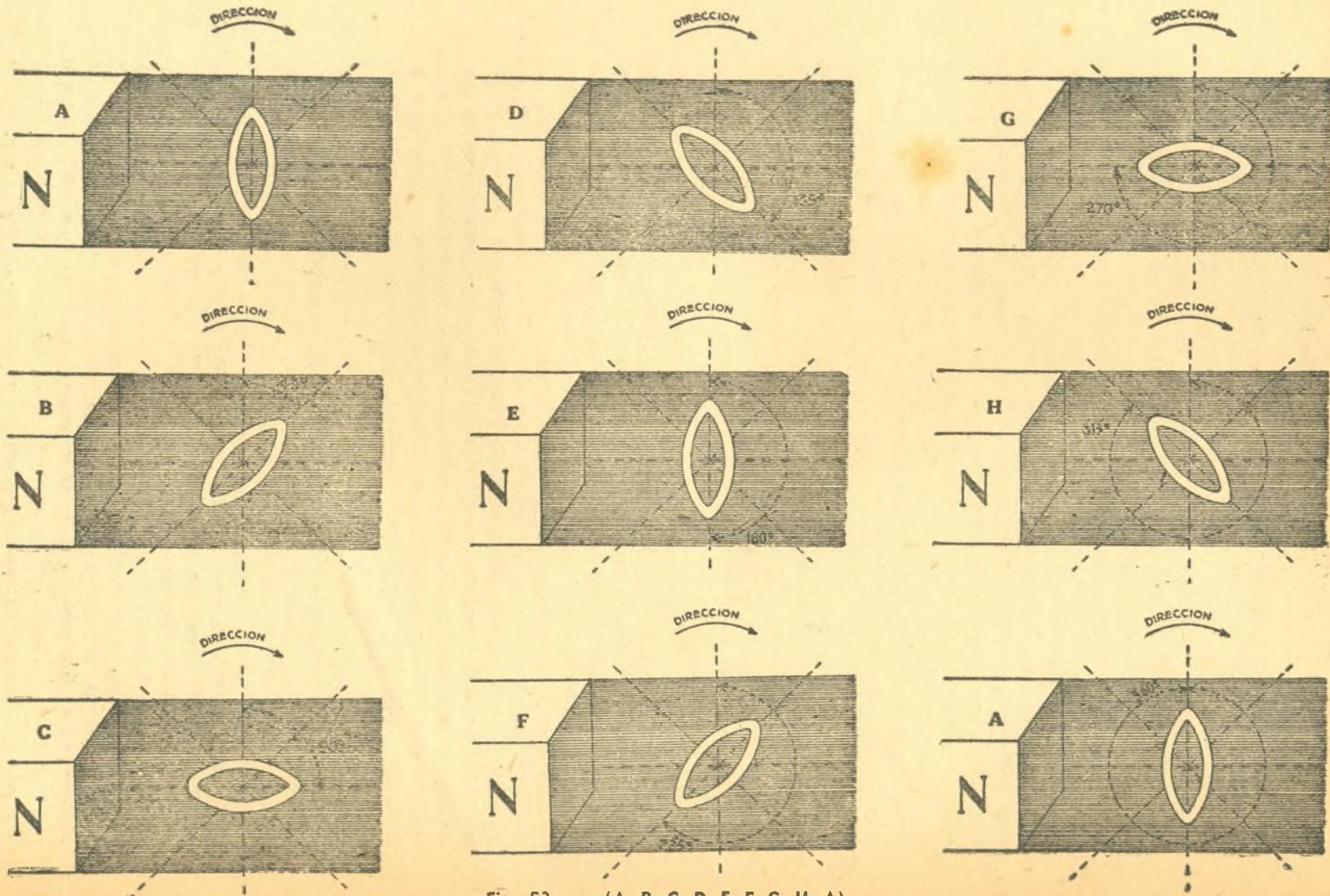


Fig. 53. — (A, B, C, D, E, F, G, H, A)

es muy grande, de manera que cuando comience a moverse, se generará una f.e.m. inducida muy grande, pero cuando la espira se halle en la posición B., las líneas de fuerza magnética que atraviesan el plano de la espira son en menor cantidad; por lo tanto, la f.e.m. inducida será menor que en la posición A. Si seguimos el movimiento posición C., tenemos que el plano de la espira no contiene ninguna línea de fuerza magnética o, mejor dicho, no está atravesada por ninguna, puesto que son paralelas, de manera que la f.e.m. inducida en esta posición es cero. De aquí llegamos a la conclusión de que una espira, cuando es atravesada en su movimiento por líneas de fuerza de un campo magnético perpendicular a su plano, la fuerza electro-motriz inducida, es máxima, pudiendo ser cero la f.e.m. si el plano de la espira es paralelo a la dirección del campo magnético (*).

De manera que, como vimos en la fórmula 13, la f.e.m. inducida es proporcional a la intensidad del campo magnético; tenemos que en este caso de la experiencia se cumple, pues cuando la intensidad de campo es máxima, posición A. la fuerza electro-motriz inducida también lo es, siendo el caso contrario el de la posición C, la influencia del campo magnético es cero, de manera que la f.e.m. inducida es también cero. Vemos, además, que la cara de la espira enfrentada al polo magnético en A y B, es la misma, de manera que la dirección de la intensidad de la corriente inducida tiene la misma dirección. Si observamos la posición D, la cual se ha obtenido al hacer girar la espira 45 grados del punto C. Vemos, pues, que la cara enfrentada es la opuesta, de manera que si el polo magnético de influencia es el mismo la dirección de la corriente inducida tendrá una dirección contraria; con respecto a la posición A y B, y la fuerza electro-motriz inducida, tendrá un valor igual a la posición B, pero de sentido contrario. Si seguimos girando la espira en otros 45 grados o sea a 180 grados del punto de partida, el plano de la espira (posición E) será perpendicular a la dirección de las líneas de fuerza magnética de manera que la f.e.m. inducida tendrá la misma magnitud de la posición A, pero el sentido de la intensidad de la corriente inducida será contrario, por lo que dijimos para el caso D. Si seguimos haciendo girar la espira entre otros 45 grados (posición F), o sea la misma dirección del punto de partida y a 225 grados del mismo, tendremos en la espira una f.e.m. inducida del mismo valor que D, por lo cual se ve que hemos pasado por un valor máximo por E. Si giramos la espira otros 45 grados, tendremos la posición G, o sea 270 grados del punto de partida y la espira se encuentra nuevamente en una posición tal que su plano es paralelo a la dirección de las líneas de fuerza magnética, de manera que la f.e.m. inducida, es cero y por lo tanto la intensidad de la corriente inducida también es cero.

Veamos ahora a la espira en la posición H, o sea 45 grados de la posición G, y a 315 grados del punto de partida. Vemos que la cara enfrentada del plano al polo magnético es contraria al enfrentado en D, E, F, G, o sea el mismo que el caso A. y B.; por lo tanto la dirección de la intensidad de la corriente eléctrica tendrá el mismo sentido de A y B, y el valor de la f.e.m. inducida igual que la posición B.

Si giramos la espira otros 45 grados, o sea 360 grados del punto de partida, llegamos al punto de partida de manera que se repetirá el caso explicado si continuamos el movimiento de la espira en esa misma dirección. Si por medio de algún instrumento pudiésemos medir la magnitud de la f.e.m. inducida para cada posición de la espira, podríamos hacer un gráfico tal, co-

(*) La dirección del campo magnético del polo norte hacia el sur.

MAGNITUDES de a. e. m. INDUCIDA

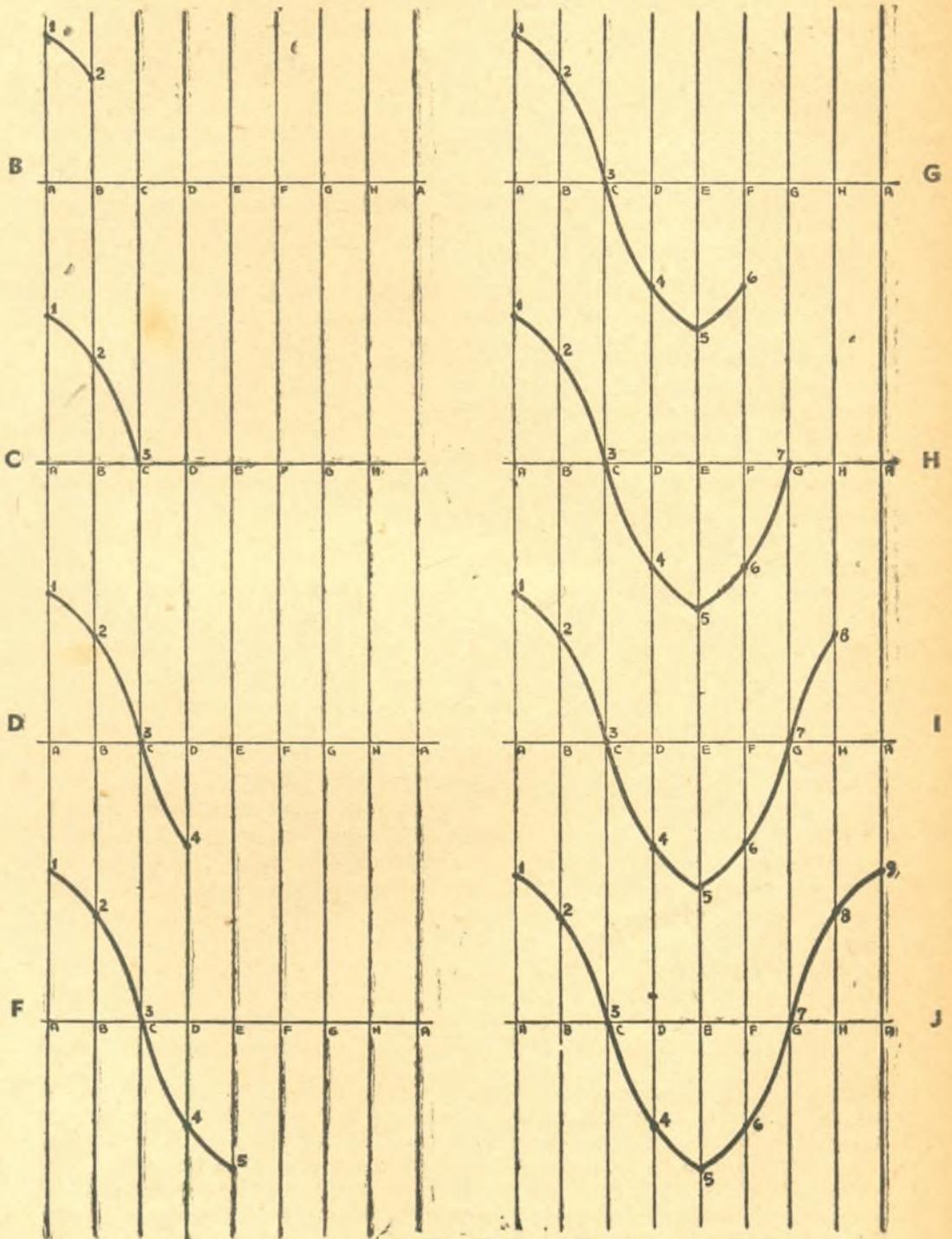


Fig. 54

mo sería la figura 54 que nos da una forma determinada y que en seguida veremos, recibe el nombre **Sinusoide** (fig. 55).

Veamos, por ejemplo, en la figura 53, que cuando la espira se trasladó de la posición A a la posición B, el valor de la f.e.m. inducida ha variado de valor de 1 a 2 en sentido descendente (figura 54 B.).

La distancia entre A y B es la magnitud equivalente al tiempo que tardó la espira en pasar de la posición A a B.

En la fig. 54 C, vemos que cuando la espira se mueve de la posición B a C, (Recordemos que dijimos que en esta posición la f.e.m. inducida era cero etc.) y que al partir de esta posición la espira llega a la posición D fig. 53, en la cual la corriente inducida tenía como dirección la contraria respecto a las posiciones A y B; por lo tanto, dibujaremos estos valores debajo de la línea A, B, C, D, E, F.

Si seguimos el procedimiento para las posiciones D, E, F, G, H, etc.; se obtendrá respectivamente las figuras D, E, F, G, H, A. A partir de esta última, o sea A bis, se vuelve a efectuar nuevamente todo el mismo proceso, o sea para cada rotación completa de la espira ó 360 grados. Si los valores obtenidos entre los puntos G, H, A, los trasladamos (fig. H.) adelante o sea a la izquierda, obtendremos una figura como la (fig. 55) que, como ya

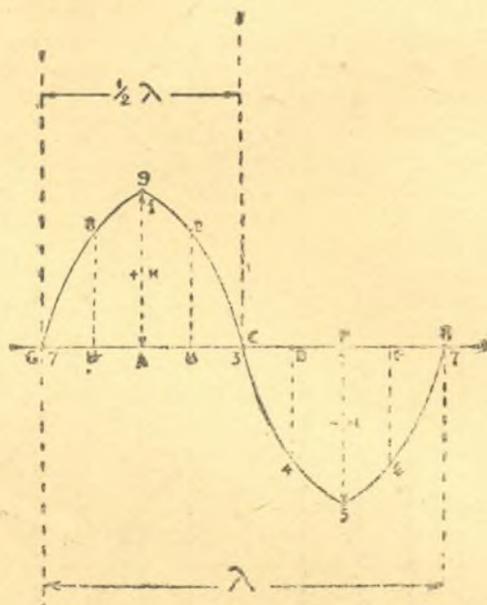


Fig. 55

dijimos, recibe el nombre de **Sinusoide**. Dicha forma sinuosa de la curva nos indica que tanto la f.e.m. inducida como la intensidad de la corriente inducida, adquieren valores proporcionales a la variación de dicha curva, para cada rotación de la espira del ejemplo o sea que se ha producido una "Alternancia", o sea un Ciclo. Si esta Alternancia o Ciclo se efectúa en un segundo, se dice que la corriente alternada generada o inducida es de una Frecuencia de un ciclo por segundo.

En el caso de la energía de la red de canalización en nuestro país, es de una frecuencia de 50 ciclos por segundo. Esto quiere decir, que en la red de canalización que nos suministra energía eléctrica del tipo corriente alter-

nada, la f.e.m. variará 50 veces por segundo de acuerdo a los valores de la curva de la figura 55.

Recordemos entonces que la frecuencia nos da el número de veces que se produce un ciclo completo en un segundo.

Las corrientes alternadas reciben el nombre de "Alta" o "Baja" frecuencia según que la frecuencia sea muy elevada o no (muchos o pocos ciclos por segundo). Se considera baja frecuencia corriente alternada entre un ciclo y 30.000 ciclos por segundo, siendo de corriente de alta frecuencia todos los superiores a 30.000 ciclos por segundo. Es decir, que la corriente industrial es de baja frecuencia. En cambio, la corriente de la antena de una estación transmisora como Radio Splendid (LR4) tiene una frecuencia aproximada a 1.000.000 de ciclos por segundo, o sea, alta frecuencia.

La frecuencia se representa f ; tiene como múltiplos el Kilociclo segundo (Kc/s.) y el Megaciclo segundo (Mc/s.), o sean 1000 ciclos segundos y 1.000.000 ciclos segundos respectivamente, de manera que una corriente cuya frecuencia es de 1.000.000 de ciclos por segundo, podemos escribir 1000 Kilociclos por segundo (1000 Kc/s.) o también un Megaciclo segundo (1 Mc/s.).

Para no tener que estar escribiendo ciclo segundo, Kilociclo segundo, Megaciclo segundo, se emplea el "Hertz" en honor al sabio alemán H. Hertz, quien estudió las corrientes de alta frecuencia y descubrió los principios de la transmisión y recepción de Radio.

Un Hertz es igual a un ciclo por segundo; 1 Kilo Hertz (Khz) es igual a un Kilociclo segundo, y un Megahertz (Mhz) un megaciclo segundo.

Longitud de onda llámase a la distancia de la fig. 55 marcada con la letra λ (lambda) letra griega que significa lo mismo que la "L" castellana. Y por lo que se ve en dicha figura es la distancia en sentido longitudinal de un ciclo o una alternancia completa; dicha distancia se mide en metros. La distancia GC se llama semiciclo, o sea $1/2 \lambda$.

H representa la "amplitud" de una intensidad de corriente alternada o una f.e.m. de corriente alternada, o en otras palabras, H representa el valor máximo que una intensidad o voltaje de corriente alternada pueden alcanzar. Un ejemplo práctico lo tenemos si decimos que el voltaje máximo de una red de alimentación de corriente alternada es de 360 Volt; quiere decir que los valores de H serán en cualquier momento 360 Volt. Lo mismo diríamos para las intensidades, pues una intensidad máxima de 10 Amp. en corriente alternada estaría dada para un valor máximo de H.

La curva 7, 8, 1, 2, 3, etc. (fig. 55) representa los valores que van adquiriendo un voltaje o una intensidad de corriente alternada en un ciclo o una alternancia. Veamos cómo se interpretan estos valores. La línea GG representaría el valor, o sea el tiempo que dura la alternancia a una escala determinada y también sería la longitud de onda. La porción 7, 8, 1, de la curva representa que los valores del voltaje o el amperaje aumentan hasta un máximo de 1 y en el 2 y 3, el voltaje decrece hasta un valor 3, que podríamos llamar mínimo o mejor todavía cero, porque después de 3 los valores cambian de signo. Recordemos en el caso de la espira que gira dentro de un campo magnético; el sentido de la corriente cambia para una determinada posición de la espira con respecto a la dirección del campo magnético. Por eso los puntos 7, 3, 7 se llaman Nodos de corrientes o Nodos de voltaje, es decir, que sus valores son nulos.

La porción 4, 5, nos indica que el voltaje o el amperaje ha cambiado de sentido hasta un valor máximo 5, o sea $-H$, hasta descender nuevamente de 5 a 7, en donde el valor del voltaje o amperaje tiene valor cero. Esto se repite tantas veces por segundo según sea la frecuencia que tiene la corriente alternada. Por ejemplo, la empleada en la capital, tiene un valor de 50 ciclos por segundo, o sean 50 Hertz (Hz). Esto quiere decir que la dirección de la intensidad de la corriente cambia 50 veces por segundo, debido a que también cambia 50 veces por segundo la polaridad de la fuerza

electro-motriz, o sea el voltaje. El conocimiento de todos estos conceptos tiene una importancia muy grande.

Existe una fórmula muy empleada en la práctica que relaciona la longitud de onda y la frecuencia, con la velocidad de la luz, siendo ésta la misma que la velocidad con que se propaga la corriente eléctrica y campo electromagnético.

Ya vimos que dicha velocidad es de 300.000 Km/seg. La fórmula fundamental es:

$$V_p = \lambda \times f \dots\dots\dots (14)$$

de ésta se deducen las dos formas generales, o sea:

$$\lambda = \frac{V_p}{f} \dots\dots\dots (15)$$

$$f = \frac{V_p}{\lambda} \dots\dots\dots (16)$$

en la cual en la fórmula 15 se conoce la frecuencia y se desea conocer la longitud de onda y en la 16 se conoce la longitud de onda y se desea saber la frecuencia. Sabemos que V_p es la velocidad de propagación; e igual a 300.000 Km/s. Como la velocidad está dada en Kilómetro/seg., la frecuencia debe también tomarse en Kilociclos/seg.; por lo tanto, la longitud de onda estará dada en metros.

Veamos algunos ejemplos:

Supongamos una estación que está transmitiendo o mejor dicho, emite un campo magnético variable de 850 Kilociclos/seg. (Khz) (o también 850.000 ciclos/seg.).

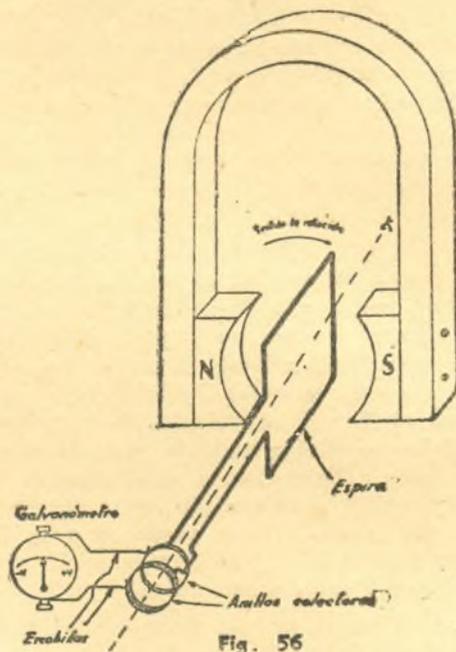


Fig. 56

Veamos cuál es la longitud de onda que tendrá cada alternancia. Si aplicamos la fórmula (15) tendremos:

$$\lambda = \frac{V_p}{f} = \frac{300.000}{850} = 353 \text{ mts. aproximadamente.}$$

Si por ejemplo tenemos una corriente alterna cuya frecuencia quere-

mos conocer, porque por un medio cualquiera hemos medido la longitud de onda, si dicha longitud fuese $\lambda = 2$ mts., tendremos, según fórmula (16):

$$f = \frac{V_p}{\lambda} = \frac{300.000}{2} = 150.000 \text{ K/cs. (Khz).}$$

El Abaco N.º 4 hará más sencilla la tarea pues están dadas en tres columnas las frecuencias y longitudes de onda más usuales en la práctica.

Por ejemplo, en la escala de la izquierda, están dados los valores de longitud de onda entre 10 y 100 mts., o sean longitudes de onda que corresponden a frecuencias entre 30.000 y 300.000 Khz. y de una manera directa, pues sobre la misma columna a la izquierda de la misma están las frecuencias y a la derecha se leen los metros de longitud de onda. Esta escala representa lo que se llama, ondas cortas. La escala del medio sería la continuación de la izquierda, pues empieza en 3000 Khz. o sean 100 mts. Dicha escala representa la onda media o la que emplean las broadcastings, la tercera escala o sea la de la derecha es una continuación de la segunda, pues empieza en 500 Khz. o sean 600 mts. y termina en 75 Khz. o sean 4000 mts. de longitud de onda o sea las llamadas ondas largas, empleadas en tráfico comercial, para avión o navegación.

En la figura 56 tenemos el esquema o mejor dicho el desarrollo de una dínamo elemental de corr. alt. compuesta por un imán, una espira de forma rectangular cuyos extremos van conectados a dos anillos de manera que si la espira gira en sentido de la flecha se inducirá en la misma una f.e.m. cuyos valores estarán de acuerdo con la senoide estudiada. Sobre los dos anillos apoyan dos escobillas que hacen el contacto de los extremos de un galvanómetro que cierra a su vez el circuito de la espira, el cual nos indica las variaciones de la intensidad de la corriente para cada rotación de la misma. Los lectores imaginarán que se repite el fenómeno explicado en la figura 53. De manera que sería interesante que cada lector repitiese con esta figura lo explicado para una espira que se mueve en un campo magnético.

19a. LECCION

F. e. m. e intensidad de Self inducción o autoinducción

Hemos estudiado el efecto producido por una corriente continua de un solenoide, pues estudiémoslo ahora para corriente alternada.

Vimos en la lección anterior, cómo se generaba una f.e.m. inducida en un solenoide acercando o alejando un imán; pues ahora consideremos el caso que el solenoide esté atravesado por una corriente alternada, es decir, que sus valores de f.e.m. varían de acuerdo a una ley determinada; supongamos de acuerdo a la senoide de la figura 55. Pues bien, veamos la figura 57. Si de acuerdo a la variación de los valores sinusoidales estudiamos los fenómenos que a partir de un instante determinado, la corriente comienza a afluir en un sentido determinado y supongamos que la intensidad de la corriente siga el sentido de la flecha, y como dicha corriente varía desde cero a un máximo positivo, pues, ¿qué sucederá en el solenoide? Se producirá un campo magnético que variará de intensidad de cero a un máximo, es decir, si recordamos el fenómeno de inducción que sería lo mismo como si acercáramos un imán al solenoide.

Bien, si hacemos abstracción por un momento de la corriente que atraviesa el solenoide, veamos qué pasa con el campo variable generado por aquélla. Si la intensidad de campo varía, lógicamente generará en el sole-

noide una f.e.m. inducida, y ¿qué sentido tendrá la intensidad de la corriente? Si recordamos la ley de Lenz que dice: **La intensidad de la corriente inducida, tendrá un sentido tal, que se opondrá a la causa que la produce;** entonces, la corriente inducida a que nos referimos, tendrá un sentido

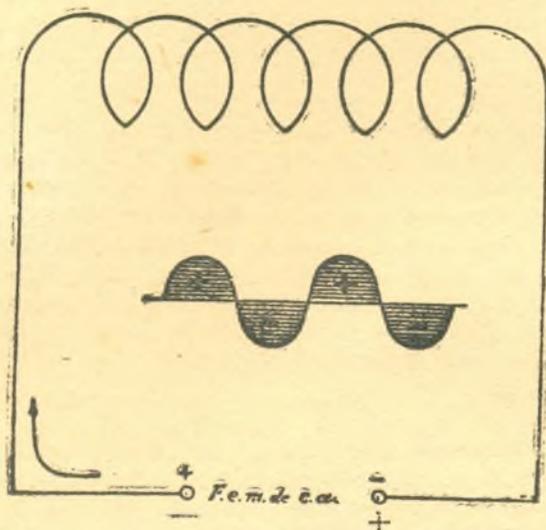


Fig. 57

contrario al de la corriente que ha generado el campo magnético y que se traducirá en una disminución de la corriente que atraviesa el solenoide. Repasemos estos conceptos:

Si por un solenoide circula una corriente tal que su intensidad varía, esta corriente generará un campo magnético variable alrededor del solenoide; dicho campo magnético variable generará una corriente inducida que, de acuerdo a la ley de Lenz, se opondrá a la corriente que ha generado el campo magnético.

Veamos qué sucede cuando la corriente, en lugar de aumentar, disminuye la intensidad. Si la intensidad de la corriente disminuye también la intensidad del campo magnético, por lo tanto la corriente inducida por dicho campo magnético variable, tendrá una dirección determinada. Veamos cuál. Recordemos la ley de Lenz:

Como en este caso la corriente que atraviesa el solenoide tenderá a disminuir, la corriente inducida tendrá un sentido tal que se oponga a que esto suceda; por lo tanto, la intensidad de la corriente inducida tendrá el mismo sentido de la corriente que atravesase el solenoide.

Se dan cuenta perfectamente de que cuando la corriente que atravesaba el solenoide aumentaba, producía un campo magnético, también que aumentaba en intensidad, dando origen a una corriente inducida en el solenoide de un sentido tal que se oponía a que aumentara la intensidad en el solenoide, de manera que la corriente inducida tenía sentido contrario a la corriente. Cuando la intensidad de la corriente que atraviesa el solenoide tiende a disminuir, la corriente inducida generada en el mismo, por efecto del campo magnético variable, toma el mismo sentido de la corriente (para evitar que éste disminuya, según la ley de Lenz).

La f.e.m. generada de la manera descrita, se llama f.e.m. de * **Self Inducción**, o más propiamente, de * **Autoinducción**, porque se genera por el solo hecho de circular una intensidad de corriente variable.

(*) Tanto "Self" como "Auto", significan "propio".

Por lo tanto, la intensidad de la corriente producida por la f.e.m. de Autoinducción, será la intensidad de la corriente de Autoinducción.

Debemos recordar que este fenómeno no se produce solamente en los solenoides, sino que también en los conductores, pues si recordamos el espectro magnético generado por un conductor, por el cual circula corriente, veremos que si dicha corriente varía, el campo magnético que circunda al conductor generará una f.e.m. de autoinducción, para evitar que esa variación se produzca, por lo que habíamos dicho antes.

Un ejemplo práctico lo tenemos al observar que cuando se corta la corriente eléctrica en una instalación, se ve que en el mismo instante que la llave deja de hacer contacto, sale una chispa o se produce un arco de más o menos intensidad que depende de la intensidad de corriente que atraviesa el circuito cortado. ¿Y por qué se produce el fenómeno descrito?

¿Qué sucede cuando cortamos la corriente? Sabemos, por ejemplo, que si el circuito está conectado a los 220 Volt de la red de canalización al hecho de cortar el circuito, la f.e.m. cae de 220 Volt a cero, de una manera que la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito, variará de un cierto valor a cero (o sea de un máximo a cero). Si recordamos lo dicho para un solenoide, sabremos que como la corriente en el conductor tiende a disminuir el campo magnético generado por ésta inducirá una f.e.m. de autoinducción que tenderá a evitar que la corriente disminuya, y por esta razón es que se produce un pequeño arco voltaico entre los bordes de la llave interruptora, pues ésta es producida por una f.e.m. de auto inducción y a veces muy superior al valor de la f.e.m. aplicada al circuito.

Este fenómeno será tanto más intenso cuanto mayor sea la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito y cuanto más larga sea la línea. Por esta razón, en establecimientos donde los circuitos eléctricos son recorridos por grandes intensidades, se emplean interrupciones de diseño especial, como por ejemplo en baño de aceite para evitar el deterioro de los contactos, por efecto de la chispa o el arco voltaico y además para asegurar la interrupción del circuito lo más rápido posible, pues en ciertas ocasiones la intensidad de corriente de autoinducción, llega a valores tan grandes que pueden inutilizar instrumentos u otros aparatos delicados conectados a dicha línea.

INDUCTANCIA. — APLICACIONES DEL FENOMENO DE LA AUTOINDUCCION EN RADIO

Bien; veamos ahora, ya que tenemos conocimientos de la autoinducción, qué aplicaciones tiene este fenómeno en la Radio. Por lo pronto todos sabemos que cualquier receptor o transmisor posee lo que llamamos bobinas que se emplean y desempeñan un rol muy importante; veamos cómo podemos emplearlas.

Vimos, por lo pronto, que un solenoide atravesado por una corriente alternada, desarrolla entre sus extremos una f.e.m. de auto inducción; pues bien; supongamos que tenemos un solenoide cualquiera conectado a una "antena" que está dentro de un campo magnético variable producido por alguna broadcasting cercana. Lógicamente, por lo que hemos estudiado, un campo magnético variable generará en el conductor (antena) una f.e.m. inducida variable, cuya corriente atravesará el solenoide (fig. 58), retornando a tierra (*). ¿Qué sucederá en el solenoide? pues por efecto del campo magnético variable generado por la corriente inducida que atraviesa el solenoide, se produce entre los extremos A y B una f.e.m. de auto inducción

(*) Más tarde estudiaremos este fenómeno en particular.

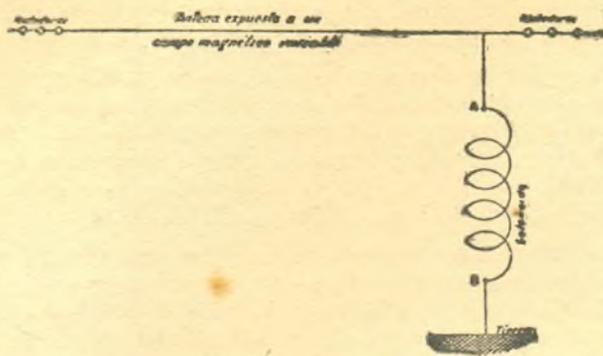


Fig. 58

de las mismas características que la corriente que generó el campo magnético de la estación transmisora (broadcasting).

De aquí vemos una aplicación directa generalizada en la Radio-técnica.

Veamos algo muy importante: Cuando estudiamos el solenoide en la 4a. Lección, ya dimos una idea de que por él circulaba una corriente constante y en un solo sentido. Pues bien, en él no ocurría nada extraordinario, se comportaba como un imán. Pero si el mismo es atravesado por una corriente alternada, ya ocurren fenómenos más o menos complicados, como ya vimos; pues bien, al hecho de que en él se originara una f.e.m. de autoinducción se le ha llamado "Inductancia" justamente por el hecho de ser inductiva, o sea fácil para que se produzca "inducción". Por esta razón, en lo sucesivo usaremos en lugar del nombre de solenoide "Inductancia" o, también, "bobina de inductancia". Como en la práctica se emplean distintos tipos de inductancia, ya sea en tamaño (diámetro, ancho), ya en número de vueltas o también distintos tipos de bobinados, se le ha fijado una unidad de medida, que se llama Henry. Este nombre se le asignó en honor al físico José Henry, que estableció los fenómenos electro-magnéticos que acabamos de estudiar y llegó a las mismas conclusiones ya conocidas por nosotros, que Faraday, y de una manera independiente.

Veamos cómo se define el Henry:

Se dice que una inductancia tiene un valor igual al Henry, cuando es capaz de inducir una fuerza electro-motriz de auto-inducción entre sus extremos de un Volt, cuando la intensidad de la corriente que atraviesa la in-

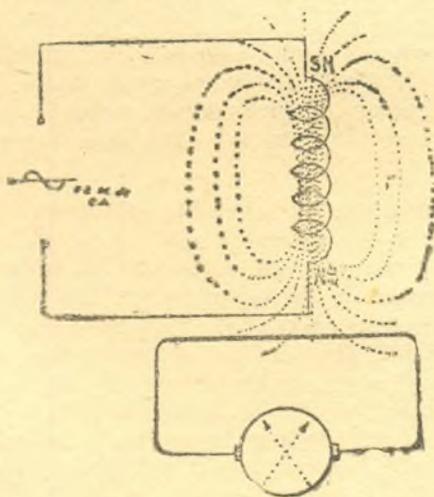


Fig. 59

ductancia, varía de intensidad en un Amper en un segundo.

O, en otras palabras, cuando una inductancia es atravesada por una corriente que varía en un Amper en un segundo y genera una f.e.m. de autoinducción de un Volt, se dice que la inductancia es igual a un Henry, y la fórmula que se obtiene de esta definición está dada por:

$$L = \frac{E \times t}{I} \dots\dots\dots (17)$$

donde L es la inductancia en Henrys. E: f.e.m. en Volts; I, intensidad de la corriente en Amperes, y t, en segundos; el Henry se abrevia "hy" y tiene como submúltiplos el milihenry o sea la milésima parte de un Henry (0,001 hy), que se abrevia "mh", y el microhenry, que es la millonésima parte de un Henry (0,000.001 hy) y que se abrevia "µh".

Tanto las unidades: henry, milihenry y microhenry, son muy usadas; por ejemplo, el henry se emplea en inductancias para trabajos de filtros de corriente, amplificador de baja frecuencia; el milihenry y el microhenry en trabajos de alta frecuencia, pues se trata de bobinas de inductancia de pocas vueltas.

20a. LECCION

Recepción de señales Radio-telefónicas y Radio-telegráficas

Ya explicamos que para que se produzca una corriente inducida en un conductor tenemos que exponerlo bajo la influencia de un campo magnético variable. Para ello consideramos el caso de que podríamos mover el alambre de manera que corte el campo magnético del imán o que estando fijo éste, sea el imán que se mueva de tal manera que el campo magnético de éste corte al conductor.

Pongamos un caso en el que tenemos interés que se produzca una f.e.m. inducida en un alambre que está fijo (fig. 59). Consideremos el caso de un solenoide por el cual se hace pasar una corriente alternada; ¿qué sucede? En la primera mitad del ciclo la intensidad del campo magnético aumentará de intensidad hasta el máximo de amplitud H de la corriente, decreciendo luego hasta cero, de manera que tendremos un campo magnético entre cero; máximo y cero y de polos definidos cuando éste no es cero. Pero cuando el sentido de la corriente cambia, se produce el fenómeno anterior pero inverso, pues lo que era antes polo norte se transformó en polo sur, y viceversa, por haberse invertido el sentido de la corriente.

Pues bien; vemos, por lo tanto, que podemos utilizar un solenoide por el cual hacemos atravesar una corriente alternada para producir un campo variable, no solamente en intensidad, sino también en sentido.

Coloquemos cerca del solenoide descrito (fig. 59) un alambre cualquiera fijo y colocamos el galvanómetro como lo habíamos hecho en la figura 50. Si la frecuencia de la corriente fuese bastante lenta como para ver el movimiento de la aguja, apreciaríamos el efecto de las variaciones de intensidad y dirección del campo, traducidas en oscilaciones en la aguja del galvanómetro. Si en el galvanómetro no pudiésemos observar los efectos de la corriente inducida, podríamos sustituir el galvanómetro por un par de teléfonos como los empleados en Radiotelefonía, y podríamos oír en él, con toda comodidad, un sonido equivalente a las fluctuaciones de la corriente. Si, por ejemplo, dicha corriente tiene una frecuencia de 50 Hz., se

oír un sonido que corresponde a esa frecuencia, producida por la corriente inducida en el alambre.

Experimento. Veamos la figura 60. En ella tenemos dos circuitos: uno inductor y otro inducido. El inductor, que podríamos llamar también primario, está formado por: una inductancia L_1 de 250 espiras de alambre de

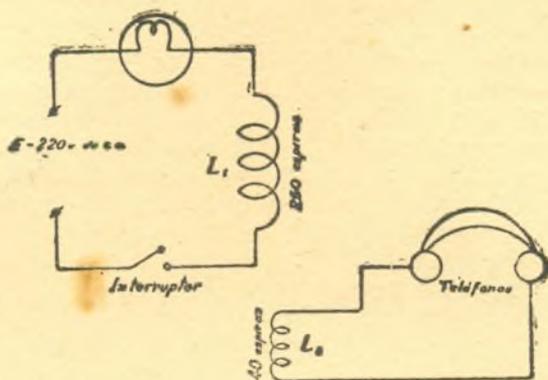


Fig. 60

campanilla arrollada sobre un tubo de cartón de unos 10 centímetros de diámetro (las espiras arrolladas una al lado de la otra); una lámpara común de alumbrado eléctrico de unos 100 watts y un interruptor; todos estos elementos conectados en serie que se enchufarán a la red de corriente alternada de 220 Volt.

El segundo circuito, o sea el inducido, que podríamos llamarlo secundario, está formado por un solenoide L_2 de 40 espiras y de las mismas características del anterior y por un par de teléfonos, como los empleados en Radiotelefonía: éstos se conectarán como se ve en la figura 60.

Se coloca L_2 cerca de L_1 (unos centímetros) y se cierra el interruptor del circuito inductor. Inmediatamente de cerrar el interruptor se oír en los teléfonos un zumbido roncó equivalente a un sonido de 50 ciclos segundo.

Pues entonces vemos inmediatamente cumplida nuestra primera parte del experimento, porque sin que el circuito inducido toque ninguna parte del inductor, se produce un sonido en los teléfonos causado por la energía que se ha transferido de un circuito a otro, en forma de f.e.m. inducida e intensidad de corriente inducida.

Movamos ahora la bobina L_2 y veamos a qué distancia podemos apreciar el efecto del campo magnético variable producido por la corriente alternada del circuito inductor, y de esta manera se comprobará el efecto de las corrientes inducidas a distancia. Si se quisiera aumentar la intensidad del campo inductor (recordar lo que se explicó en la Lección 17a.), se pueden aumentar el número de espiras de L_2 . También podrá aumentarse la intensidad de la corriente, substituyendo la lámpara de 100 watts por otra de 500 watts. También vimos en la Lección 17a., que si se aumenta la frecuencia, aumenta la intensidad del campo magnético y por lo tanto en nuestro experimento, si sustituimos la fuente de alimentación de 50 Hertz por otra fuente de alimentación (f.e.m.) a una frecuencia más elevada, por ejemplo, 1000 Hertz, oíríamos en los teléfonos un sonido equivalente a 1000 Hertz y a una distancia mayor que en el primer caso. De esta manera vemos experimentalmente que es posible generar una fuerza electro-motriz, en un circuito (secundario) haciendo actuar solamente un campo magnético variable sobre él.

RECEPTOR Y TRANSMISOR RADIOTELEGRAFICO-ELEMENTAL

Por lo que hemos visto, si quisiéramos construir un transmisor Radiotelegráfico elemental, podría hacerse siguiendo los conocimientos adquiridos en el experimento anterior. Pues bien; en la figura 61 tenemos un circuito primario que podríamos llamar **Transmisor** y que es igual al circuito inductor de figura 60, colocado cerca de una pared de una habitación cualquiera. En la habitación contigua y cerca también de la pared, se coloca el circuito secundario de las mismas características del circuito inducido (figura 60), que lo llamaremos **Receptor**. Pues bien; dejamos a cargo de alguna persona el manipulador **M.** (figura 61), de manera que produzca interrupciones, de acuerdo al código telegráfico Morse. Del otro lado otra persona

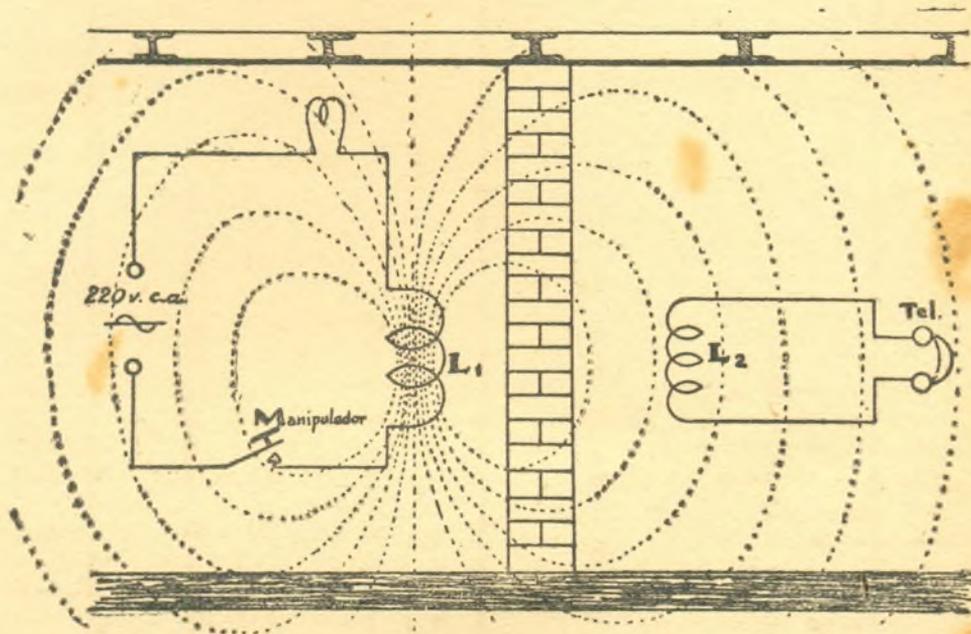


Fig. 61

se calzará los teléfonos y escuchará pudiendo oír con suma nitidez todas las señales impresas al circuito, o sea, el Transmisor. Si aumentamos la frecuencia a la corriente alternada que alimenta al transmisor, se podrán efectuar estos experimentos a mayor distancia y con más nitidez, pues la frecuencia de 50 Hertz (ciclos por segundo) es fácil de confundir con los ruidos propios del ambiente, cuando en aquéllos la corriente inducida es muy débil.

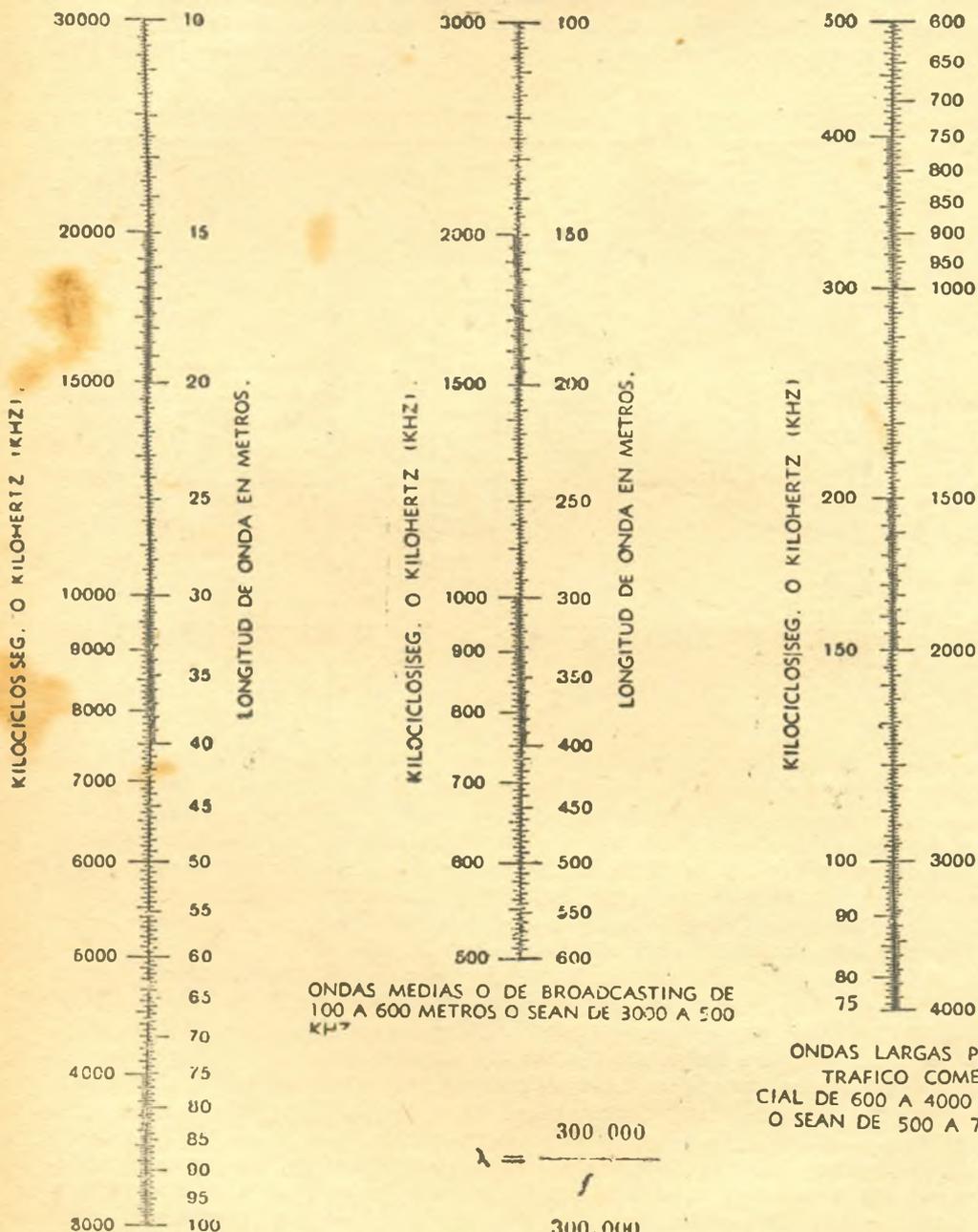
Los primeros transmisores y receptores no difirieron en mucho de los experimentos expuestos, como veremos más adelante.

Como la utilización de corrientes de frecuencias muy bajas no fueron posibles de utilizar para las transmisiones de señales de Radio, debido a que las intensidades de campo eran muy débiles, aun utilizando grandes potencias en los circuitos inductores, se ha tenido que recurrir a frecuencias más elevadas que se denominan "Altas Frecuencias" y que permiten obtener intensidades de campo suficientes, como para que una pequeña energía gastada en el circuito inductor (Transmisor) pueda generar una corriente inducida a una distancia de muchos cientos de kilómetros. Esto se ve diariamente en la práctica: una estación de aficionados se comunica a veces diariamente con aficionados de cualquiera de los cinco continentes utilizando energías de alta frecuencia, de unos 5 a 10 watt, transformados en un campo magnético; claro está que la frecuencia utilizada es de unos 14.000 Khz., o sean unos 14.000.000 de ciclos por segundo.

De aquí la importancia y el por qué de la utilización de corrientes de alta frecuencia para la transmisión Radio-telefónica y Radio-telegráfica. Más tarde veremos también las ventajas e inconvenientes de usar frecuencias muy elevadas o frecuencias medias para la transmisión.

ABACO N.º 4

RELACION ENTRE LAS LONGITUDES DE ONDAS Y LAS FRECUENCIAS



ONDAS MEDIAS O DE BROADCASTING DE 100 A 600 METROS O SEAN DE 3000 A 500 KHZ

ONDAS LARGAS PARA TRAFICO COMERCIAL DE 600 A 4000 METROS O SEAN DE 500 A 75 KHZ.

$$\lambda = \frac{300.000}{f}$$

$$f = \frac{300.000}{\lambda}$$

ONDAS CORTAS DE 10 A 100 METROS O SEAN DE 30.000 A 3.000 KHZ.

21a. LECCION

GENERALIDADES - INDUCTANCIAS

En las lecciones anteriores hemos destacado la importancia que tiene en la Radiotécnica el empleo de las inductancias. Veamos ahora cómo se calculan de una manera general y aplicada a la práctica.

Son muy diversas las formas de dichas inductancias. Como luego veremos, pueden adoptar formas octogonales, exagonales, redondas, en forma de "Honey Comb" (nido de abejas), simplemente bobinas de "choque" porque son del tipo de bobinado elegido para trabajos de choque.

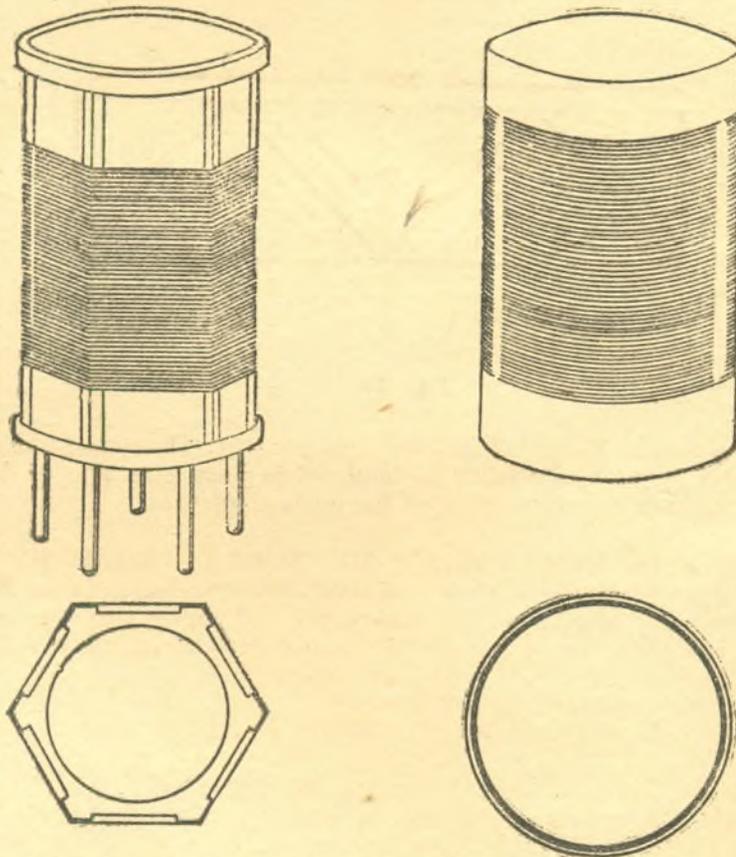


Fig. 62

También suele llamarse Universal a este tipo de bobinado porque es el que se emplea casi exclusivamente en la actualidad en las bobinas de inductancia para alta frecuencia. Otro tipo muy empleado en los últimos años es el llamado "Bank Winding" y "Flatter Winding" que son muy parecidos, prefiriéndose el empleo del último para la producción en gran escala por resultar muy económico. Haremos un estudio somero de estos diferentes tipos.

En la figura 62 tenemos a la izquierda una inductancia bobinada sobre una forma exagonal y a la derecha sobre una forma cilíndrica. En la práctica solamente interesan las de forma cilíndrica y son éstas las que estudiaremos en particular.

En la figura 63 se puede ver el tipo de bobinado Honey Comb o bobinado Universal y el desarrollo de una espira que da una idea de cómo se va

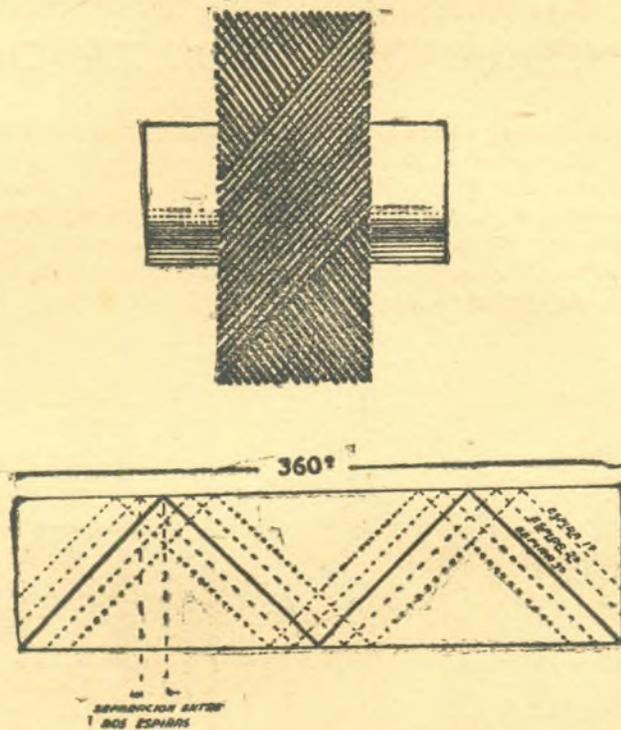


Fig. 63

colocando a través de los 360 grados (una vuelta). Daremos también algunas fórmulas para el cálculo de la inductancia para este tipo de bobinado para el tipo Bank Winding, pero en lecciones siguientes.

CALCULO DE INDUCTANCIAS DE FORMA CILINDRICA. — La fórmula que más se emplea para este tipo de bobinados es la de **Nagaoka**, físico japonés que estudió y halló los valores del factor que depende de la forma del bobinado, factor que simplifica enormemente el cálculo de las inductancias.

La fórmula general es la siguiente:

$$L = 0,00987 \times d^2 \times n^2 l \times K \dots\dots (18)$$

donde:

- L — es el valor de la inductancia en microhenrys (μ h).
- d — es el diámetro medio de las espiras en centímetros.
- n — es el número de espiras por centímetro.
- l — es la longitud del bobinado en centímetros.

K — es un factor que depende de la relación $\frac{d}{l}$ (Cuadro V).

Veamos enseguida cómo se aplica esta fórmula. Supongamos que se quiere calcular la inductancia de la figura 64, donde el número de espiras son $n = 143$; el diámetro medio $d = 1,9$ cm., la longitud de la bobina $l = 2,5$ cm. de manera que la cantidad de vueltas por centímetro de bobinado se-

ría $\frac{143}{2,5} = 57$ espiras aproximadamente. Calculemos ahora el factor K

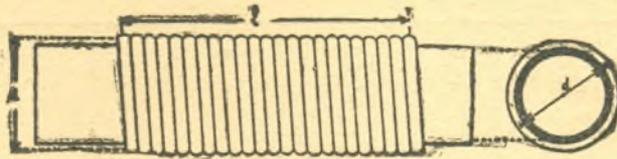


Fig. 64

para esta inductancia. Dijimos que dependía de la relación $\frac{d}{l}$

es decir que para cada valor de $\frac{d}{l}$ tenemos un valor distinto de K. Estos

valores están dados en la tabla V. En nuestro caso $\frac{d}{l} = \frac{1,9}{2,5} = 0,76$; bus-

camos en la tabla V el valor de K que corresponde a 0,76 y encontramos un valor para $K = 0,745$; conocemos, pues, todos los valores de la fórmula (18) lo que nos permite calcular L, o sea:

$$\begin{aligned} L &= 0,00987 \times d^2 \times n^2 \times l \times K = \\ &= 0,00987 \times 1,9^2 \times 57^2 \times 2,5 \times 0,745 = \\ &= 0,00987 \times 1,9 \times 1,9 \times 57 \times 57 \times 2,5 \times 0,745 = 215,6 \mu\text{h}. \end{aligned}$$

Como ven nuestros lectores, el cálculo es sumamente sencillo. Propondremos otro ejemplo a título de repaso. Sea la figura 65. Supongamos que se

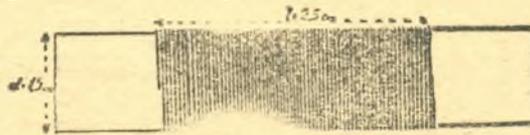


Fig. 65

desea conocer el valor de una inductancia que tiene 155 espiras en total, siendo la longitud del bobinado 2,5 cm. y su diámetro medio, 1,5 cm. El

número de espiras por centímetro será: $\frac{155}{2,5} = 62$ espiras por centímetro

y el valor de K se deduce de la relación $\frac{d}{l}$ o sea $\frac{d}{l} = \frac{1,5}{2,5} = 0,6$, es

decir, que si la relación del diámetro medio de la bobina respecto a su longitud es de 0,6 le corresponde, según tabla V, un valor de $K = 0,788$, de manera que podemos escribir:

$$\begin{aligned} L &= 0,00987 \times d^2 \times n^2 \times l \times K = \\ &= 0,00987 \times 1,5^2 \times 62^2 \times 2,5 \times 0,788 = \\ &= 0,00987 \times 1,5 \times 1,5 \times 62 \times 62 \times 2,5 \times 0,788 = 168,16 \mu\text{h} \end{aligned}$$

Puede utilizarse una fórmula más sencilla, que si bien requiere una división, evita en cambio el cálculo del número de espiras por centímetro. La nueva fórmula es la siguiente:

$$L = \frac{0,00987 \times d^2 \times N^2 \times K}{l} \dots \dots \dots (19)$$

cuyos factores son iguales a los de la fórmula anterior con excepción de N que representa el número total de vueltas, en reemplazo de n que nos daba

TABLA V

$\frac{d}{l}$	k	$\frac{d}{l}$	k	$\frac{d}{l}$	k	$\frac{d}{l}$	k
0.00	1.000	0.44	0.837	0.88	0.716	3.2	0.414
0.01	0.996	0.45	0.834	0.89	0.713	3.3	0.407
0.02	0.992	0.46	0.831	0.90	0.711	3.4	0.401
0.03	0.987	0.47	0.827	0.91	0.709	3.5	0.394
0.04	0.983	0.48	0.824	0.92	0.706	3.6	0.386
0.05	0.979	0.49	0.821	0.93	0.704	3.7	0.382
0.06	0.975	0.50	0.818	0.94	0.702	3.8	0.376
0.07	0.971	0.51	0.815	0.95	0.699	3.9	0.371
0.08	0.967	0.52	0.812	0.96	0.697	4.0	0.365
0.09	0.963	0.53	0.809	0.97	0.695	4.1	0.360
0.10	0.959	0.54	0.806	0.98	0.693	4.2	0.355
0.11	0.955	0.55	0.803	0.99	0.691	4.3	0.350
0.12	0.951	0.56	0.800	1.00	0.688	4.4	0.345
0.13	0.947	0.57	0.797	1.05	0.678	4.5	0.341
0.14	0.943	0.58	0.794	1.10	0.667	4.6	0.336
0.15	0.939	0.59	0.791	1.15	0.657	4.7	0.332
0.16	0.935	0.60	0.788	1.20	0.647	4.8	0.328
0.17	0.931	0.61	0.786	1.25	0.638	4.9	0.324
0.18	0.928	0.62	0.783	1.30	0.629	5.0	0.320
0.19	0.924	0.63	0.780	1.35	0.620	5.5	0.301
0.20	0.920	0.64	0.777	1.40	0.611	6.0	0.285
0.21	0.916	0.65	0.774	1.45	0.603	6.5	0.271
0.22	0.913	0.66	0.772	1.50	0.595	7.0	0.258
0.23	0.909	0.67	0.769	1.55	0.587	7.5	0.247
0.24	0.905	0.68	0.766	1.60	0.579	8.0	0.237
0.25	0.902	0.69	0.764	1.65	0.571	8.5	0.227
0.26	0.898	0.70	0.761	1.70	0.565	9.0	0.218
0.27	0.894	0.71	0.758	1.75	0.558	9.5	0.211
0.28	0.891	0.72	0.756	1.80	0.551	10.0	0.203
0.29	0.887	0.73	0.753	1.85	0.544	12	0.179
0.30	0.884	0.74	0.750	1.90	0.538	14	0.160
0.31	0.880	0.75	0.748	1.95	0.532	16	0.146
0.32	0.877	0.76	0.745	2.0	0.525	18	0.134
0.33	0.873	0.77	0.743	2.1	0.514	20	0.124
0.34	0.870	0.78	0.740	2.2	0.502	24	0.108
0.35	0.866	0.79	0.738	2.3	0.492	28	0.096
0.36	0.863	0.80	0.735	2.4	0.482	35	0.081
0.37	0.860	0.81	0.733	2.5	0.472	45	0.066
0.38	0.856	0.82	0.730	2.6	0.463	60	0.053
0.39	0.853	0.83	0.728	2.7	0.454	80	0.042
0.40	0.850	0.84	0.725	2.8	0.445	100	0.035
0.41	0.847	0.85	0.723	2.9	0.437		
0.42	0.843	0.86	0.720	3.0	0.429		
0.43	0.840	0.87	0.718	3.1	0.422		

el número de espiras por centímetro de bobinado. Verificando el primer ejemplo con la nueva fórmula, tendremos:

$$L = \frac{0,00987 \times d^2 \times N^2 \times K}{l} = \frac{0,00987 \times 1,9 \times 1,9 \times 143 \times 143 \times 0,745}{2,5}$$

215,6 μ h

Para facilitar el empleo de alambres de distintos tamaños y muy comúnmente usados en Radiotécnica, insertamos la Tabla VI en la cual se dan ordenadas las medidas de alambres más usuales según la numeración norteamericana (B y S) y a la izquierda de ésta la numeración Inglesa (SWG), pero solamente en tamaños coincidentes con la norteamericana (*); a la derecha tenemos dichos números dados en su diámetro en milímetros como a la numeración extranjera. Con la Tabla III, combinada con la VI, se obtienen todos los valores que emplearemos más adelante.

En cuanto a los otros tipos de bobinados, no daremos por ahora ninguna fórmula, pues se tratarán con todo detalle en la lección correspondiente a circuitos sintonizados y sus aplicaciones en la práctica. Así también las inductancias del orden de los Henrys serán estudiadas con sus fórmulas cuando tratemos de los filtros, transformadores de amplificación de baja frecuencia, etc.

Nos hemos detenido un poco en el cálculo de inductancias de alta frecuencia, porque nos servirá de base en el estudio de la recepción de señales, para el cálculo de receptores, etc.

Para facilitar la tarea a nuestros lectores, insertamos también un ábaco para cálculo de inductancias (Abaco N.º 5), de manejo muy simple y de gran aplicación en la práctica. Explicaremos cómo se lo emplea.

Tomemos por ejemplo el primer problema que nos da para la inductancia un valor $L = 215,6 \mu$ h. Supongamos que no se conoce este valor y que se le desea calcular con el ábaco. En la primera línea a la izquierda tenemos los valores de inductancia; en la línea del centro tenemos de un lado los valores de los diámetros que pueden adoptar las bobinas y del otro el número de espiras para un determinado tipo de inductancia. En la escala de la derecha tenemos una relación entre la longitud del bobinado y el diámetro, esto es, la inversa de la que vimos en la fórmula. Veamos su mane-

jo. Se empieza por calcular la relación $\frac{l}{d} = \frac{2,5 \text{ cm.}}{1,9 \text{ cm.}} = 1,31$; se ubica

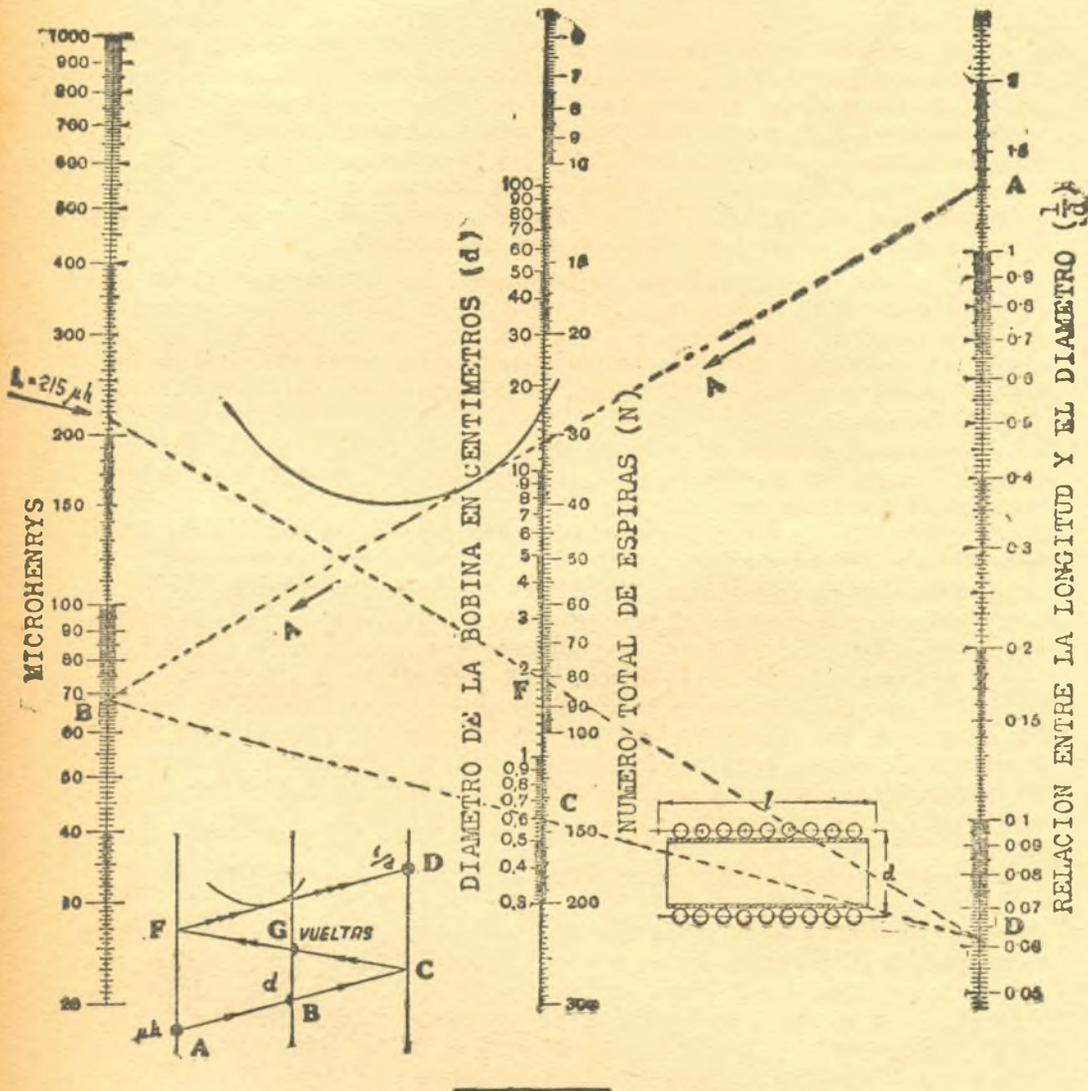
dicho valor sobre la escala de la derecha en el punto A y tomando como punto de partida dicho punto se traza una tangente (1) a la curva, como pueden ver en el ábaco con la línea punteada y flecha A, y vemos que dicha recta corta a la escala a la izquierda en un punto "B". Ubicado el punto B y conociendo el número total de espiras de la inductancia que son 143, que en la escala correspondiente es el punto C. Unimos B y C y prolongamos hasta cortar la escala de la derecha en el punto D. Una vez ubicado el punto D, fijamos en la escala correspondiente el diámetro de la bobina (punto F) y uniendo el punto D con F y prolongando dicha línea hasta cortar la escala de la izquierda obtenemos el valor de la inductancia que es precisamente el valor obtenido con las fórmulas. La exactitud en el resultado depende de la exactitud de los puntos; por eso aconsejamos que utilicen al marcarlos un lápiz de punta muy fina. Por lo demás, errores del 2 al 3 por ciento entre el cálculo y el ábaco son despreciables para los trabajos que realizaremos. Los lectores pueden verificar con otros ejemplos

(*) Damos preferencia a la numeración norteamericana por ser la más usual.

(1) Una recta es tangente a una curva cuando dicha recta tiene un solo punto común con la curva.

ABACO N.º 5

Cálculo de inductancias para solenoides de secciones circulares



los valores que se obtienen con el ábaco. Pueden utilizar el mismo N.º 5 para el caso de tener que calcular el número de espiras conociendo el valor de la inductancia y fijando el valor del diámetro de la bobina y la longitud de la misma. Para facilitar dicha tarea insertamos en el mismo ábaco un pequeño gráfico y a la izquierda para seguir el procedimiento.

Si se conoce el valor de la inductancia, el punto A y el diámetro de la bobina (este valor se fija de acuerdo a las necesidades de espacio del aparato), el punto B y se traza la línea A B C y luego se traza la línea DF de manera que sea tangente a la curva. El punto F se obtiene al dividir la longitud de la bobina por su diámetro. Uniendo F con C la recta cortará a la escala central en un punto determinado G que nos dará, directamente, el número de espiras necesario para dicha bobina.

Para calcular el número de vueltas de la inductancia conociendo el valor de la inductancia, se emplea la siguiente fórmula:

$$N = \sqrt[3]{\frac{L \times l}{0,00987 \times d^2 \times K}} \dots\dots\dots (20)$$

Esta fórmula es fácil de aplicar (*) y posiblemente sea la más empleada, pues en la mayoría de los casos se presenta el problema de calcular el número de espiras que necesita una inductancia determinada. Veamos el segundo ejemplo propuesto en esta lección. Si tenemos $L = 168$ aproximadamente; $l = 2,5$ cm. $d = 1,5$ cm. $K = 0,788$, podemos calcular:

$$\begin{aligned} N &= \sqrt[3]{\frac{L \times l}{0,00987 \times d^2 \times K}} = \sqrt[3]{\frac{168 \times 2,5}{0,00987 \times 1,5 \times 1,5 \times 0,788}} = \\ &= \sqrt[3]{\frac{4200}{0,0176}} = \sqrt[3]{238613} = 488 \text{ espiras} \end{aligned}$$

El lector puede proponerse problemas para aplicar las fórmulas, pues tienen fundamental importancia en las aplicaciones prácticas.

Para completar el cálculo y construcción de una inductancia, veamos cómo se calcula el alambre que, de acuerdo al número de espiras calculado debe entrar en el espacio elegido. Para apreciar la importancia de este cálculo bastará recordar que no es suficiente que una inductancia tenga el número de espiras calculado, sino que además debe tener exactamente la longitud fijada previa al cálculo.

Veamos el primer ejemplo: Como se recuerda, la inductancia de 215,6 μ h constaba de 143 espiras para un largo de bobinado de 2,5 cm.; ¿qué diámetro tendrá el alambre a utilizar? En la Tabla VI tenemos fijados para cada diámetro de alambre y distintos tipos de aislaciones el número de espiras que corresponden a cada centímetro de bobina. Pues bien: si en nuestro ejemplo tenemos 143 espiras para 2,5 cm. de longitud, a cada centí-

metro le corresponderán $\frac{143}{2,5} = 57$ espiras. Con este dato observaremos

cuál es el alambre que tiene esa cantidad de espiras por centímetro. Supongamos que se desea construir la bobina con alambre esmaltado. En la columna correspondiente, la cantidad de espiras por centímetro que más se aproxima es la del N.º 34 (B y S), o sean unas 55 espiras por centímetro; en nuestro caso necesitaríamos un alambre un poco más fino, o también en la columna de una capa de algodón tenemos para el N.º 39 (B y S) 56 espiras por centímetro. Si no interesa que el valor de la inductancia sea demasiado estricto, se puede utilizar cualquiera de los dos tipos de alambre dando preferencia siempre al de diámetro mayor, pues tienen resistencias menores para una misma longitud de alambre. En el caso de que la inductancia tuviera que aproximarse mucho al valor calculado, se bobinaría por ejemplo con el alambre N.º 34 B y S (55 espiras por cm.) y luego se verifican los cálculos para ver si la diferencia en la inductancia no es muy grande. Veamos un ejemplo: Si se emplea un alambre de 55 espiras por

cm. para 143 espiras se necesitará bobinar $\frac{143}{55} = 2,6$ cm.

Volvamos a efectuar los cálculos empleando la fórmula 19:

Tenemos:

$$\frac{d}{l} = \frac{1,9}{2,6} = 0,73 \text{ o sea } K = 0,753. \text{ Entonces:}$$

(*) Para raíces cuadradas, ver Curso de Matemáticas. (Apéndice).

$$L = \frac{0,00987 \times d^2 \times N^2 \times K}{l} = \frac{0,00987 \times 1,9 \times 1,9 \times 143 \times 143 \times 0,753}{2,5} = 219 \mu h$$

La diferencia entre 219 y 215 es de μh , o sea 2 o/o que para casos generales se puede considerar un límite admisible. Este mismo ejemplo puede verificarse con el ábaco N.º 5 y utilizarlo en la práctica para los casos en que sea suficiente la aproximación del ejemplo propuesto.

TABLA VI

Numeración S.W.G. Inglés que corresponde a la americana	Numeración ame- ricana B. y S.	Diámetros en milímetros	Vueltas por centímetros					
			Alambre desnudo	Alambre esmaltado	Alambre 1 capa de seda	Alambre 2 capas de seda	Alambre 1 capa de algodón	Alambre 2 capas de algodón
16	14	1.62	6.13	5.5	—	—	5.5	5.12
17	15	1.44	6.9	6.3	—	—	5.9	5.9
18	16	1.29	7.7	7.1	—	—	6.7	6.3
—	17	1.14	8.7	8.3	—	—	7.9	7.1
—	18	1.01	9.8	9.1	—	—	8.68	7.9
20	19	0.91	10.9	10.6	—	—	9.85	8.66
21	20	0.81	12.2	11.4	10.6	9.85	10.7	9.85
22	21	0.72	13.8	12.6	11.8	10.6	11.8	10.7
—	22	0.64	15.3	14.2	13.4	12.	13.4	11.8
24	23	0.57	17.3	15.7	15.0	13.4	14.6	12.6
25	24	0.51	19.7	17.7	16.9	15.	16.2	13.8
26	25	0.45	22.0	19.7	18.5	16.15	17.7	15.
—	26	0.40	24.8	22.4	20.5	17.7	19.7	16.2
—	27	0.36	27.5	25.2	22.8	19.7	21.7	17.7
30	28	0.32	31.1	27.9	25.2	20.9	23.6	18.9
31	29	0.28	34.6	31.9	27.9	22.9	25.6	20.1
33	30	0.25	39.4	34.6	31.5	26.	27.9	21.7
—	31	0.22	44.1	40.9	34.2	27.9	30.	22.8
35	32	0.20	49.2	47.2	39.0	30.	33.	24.4
—	33	0.18	55.5	51.2	41.3	32.7	35.4	26.
—	34	0.16	62.6	55.	43.3	34.6	38.2	27.2
40	35	0.14	71.0	63.	51.2	41.	41.	28.7
—	36	0.12	78.7	74.8	55.1	43.8	46.	32.3
—	37	0.11	87.4	80.7	59.1	45.3	49.2	33.5
42	38	0.10	98.4	88.6	63.	47.2	51.2	34.6
—	39	0.09	112.2	100.4	70.9	51.2	56.	35.4
44	40	0.08	126.3	110.2	78.7	55.1	59.4	36.2

Resistencias inductivas. - Inductancias acopladas en serie y en paralelo

De la misma manera como se acoplan resistencias en serie y en paralelo, se acoplan también las inductancias. Claro está que los fenómenos que aquí intervienen son inductivos. Por eso hay que tener en cuenta que ya no es una corriente continua la que atraviesa por las inductancias, sino que se trata de corrientes alternadas; por lo tanto, sabemos ya cuáles serán los fenómenos que se producen. En cambio si una resistencia es atravesada por una corriente alternada ésta actuará de la misma manera que una corriente continua de la misma magnitud, siempre que dicha resistencia no sea inductiva, es decir, que si fuese de alambre no deberá estar arrollada como un solenoide. En la fig. 66 podrá verse en A una resistencia inductiva y en B una no inductiva. En la A podrá apreciarse que en realidad no hay diferencia con una inductancia, a excepción de que está bobinada con un alambre especial para resistencias. La influencia que esta resistencia puede tener en la corriente alternada depende de las características propias de la misma, que más tarde estudiaremos para el caso general de inductancias que poseen resistencia.

En la figura B se ve una resistencia no inductiva que está bobinada de tal manera que el campo magnético generado queda anulado por la acción de otro campo magnético de igual magnitud, pero de sentido contrario, y esto se logra gracias al bobinado doble, es decir, que una vez conocida la longitud de alambre que constituirá la resistencia, se la dobla en dos mitades iguales y sin cortar se las junta y se bobina como si fuera un solo alambre, evitando naturalmente que ambas mitades se toquen. Los extremos de la re-

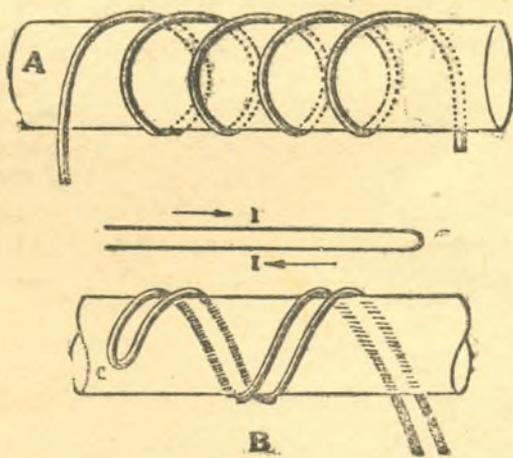


Fig. 66

sistencia serían los extremos de los alambres. Observamos ahora el sentido que llevará la corriente se verá que si entra por un extremo de alambre, dicha corriente tendrá un sentido determinado para llegar a la zona "C" a partir de donde la corriente "vuelve" en sentido contrario y paralelamente en sentido anterior, de manera que el campo magnético en la primera mitad del recorrido de la corriente tendrá un sentido determinado mientras que en la otra mitad del recorrido el campo magnético generado tendrá el sentido contrario. Como tienen el mismo número de espiras y la disposi-

ción es la misma por estar paralelamente colocadas, y siendo la intensidad de la corriente del mismo valor, resulta que la acción de los dos campos magnéticos, por ser de igual magnitud pero de sentido contrario, se anulan, obteniéndose de esta manera una resistencia que no genera ningún campo magnético y por esta razón todas las resistencias empleadas en instrumentos de medición de corrientes alternadas se fabrican de acuerdo a la figura B.

INDUCTANCIA EN SERIE

Cuando se conectan inductancias en serie, según figura 67, se tendrá que si una corriente, alternada atraviesa L_1 dicha corriente quedará dificultada en su paso por la corriente de auto inducción, según se ha explicado en la lección 19. Por lo tanto, si esa misma corriente alterna- da tuviera que atravesar tres inductancias como en la figura 67, una después de otra, sus autoinducciones se opondrán a que la corriente atra-

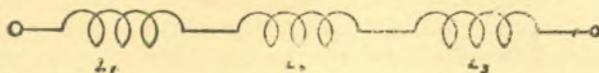


Fig. 67

viese la inductancia. Se ve claramente que se podría comparar la acción de estas inductancias con la de las resistencias conectadas en serie, pues éstas también se oponen una después de otras al paso de la corriente; por lo tanto, en el caso de inductancias conectadas en serie se podría decir que la inductancia total es igual a la suma de las inductancias parciales.

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots \text{etc.} \dots (21)$$

De manera que si tenemos un circuito formado por inductancias en serie, como en la figura 68 por ejemplo que consta de cinco inductancias cu-

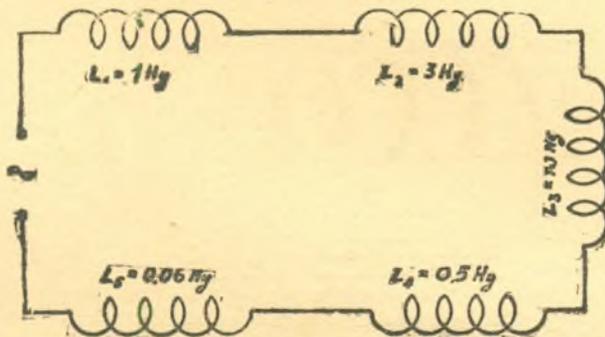


Fig. 68

yos valores están dados en la figura; aplicando la fórmula 21, tenemos:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = 1 + 3 + 10 + 0,5 + 0,06 = 14,56 \text{ Hy}$$

Hacemos notar que estos resultados son exactos cuando los campos magnéticos de las distintas inductancias no se influyen entre sí. En seguida veremos la causa.

INDUCTANCIAS CONECTADAS EN PARALELO

Si las inductancias conectadas en serie se oponen a que la corriente alterna- da atraviese el circuito, tiene en cambio una acción contraria cuando se las conecta en paralelo. Si se tiene una inductancia y se le conecta otra en

paralelo, lógicamente la segunda determinará un aumento de la corriente total, lo que permite el empleo de las mismas fórmulas estudiadas para las resistencias en paralelo. En la figura 69 se tienen dos inductancias L_1 y L_2

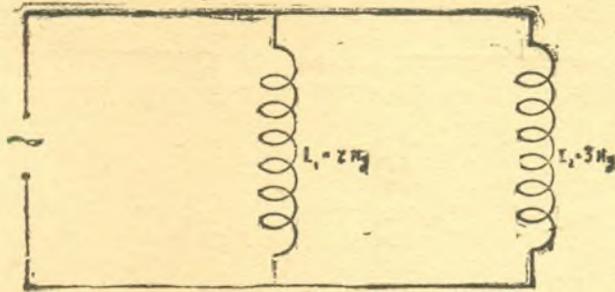


Fig. 69

conectadas en paralelo y con los valores que indica la figura. Aplicando la fórmula para inductancias en paralelo, tenemos:

$$L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2} \dots\dots\dots (22)$$

luego

$$L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2} = \frac{2 \times 3}{2 + 3} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ Henrys}$$

Si el circuito tuviese más de dos inductancias en paralelo se calcularía de la misma manera como si fueran resistencias:

En estos casos de inductancias en paralelo, debemos hacer la misma salvedad que para las inductancias conectadas en serie, pues estos valores son verdaderos si los campos magnéticos de cada inductancia no ejercen influencia entre sí.

INDUCTANCIA MUTUA

Existe inductancia mutua o inducción mutua entre dos circuitos inductivos, cuando sus campos magnéticos quedan influenciados entre sí. De otra manera, un campo magnético, producido por una corriente alternada puede generar una fuerza electro-motriz inducida en otro circuito, es decir un campo magnético en el circuito inducido que depende de las características de ambos según estén en posición determinada respecto de sus campos magnéticos. Para aclarar este concepto, veamos las figuras 70, 71, 72 y 73. En la figura 70 tenemos dos inductancias: L_1 que está conectada a una f.e.m. de corriente alternada de manera que genera un campo magnético variable. Como L_2 está en dicho campo, quedará influenciado por éste, dando origen a que en L_2 se desarrolle una f.e.m. inducida que origina una corriente que es acusada por el galvanómetro G (*).

¿Qué sucede si por L_2 circula una corriente alternada (que fué inducida por el campo magnético de L_1)? Como es natural, se formará un campo magnético propio que tendrá una influencia determinada sobre el campo magnético generado por L_1 afectando en consecuencia a los valores propios de inductancia de L_1 y L_2 puesto que se altera el campo magnético. Nuestros lectores recordarán la importancia vital que tiene en el valor de la inductancia el campo magnético generado. Así, cuando definimos la unidad "Henry" dijimos que "una inductancia poseía un henry cuando la variación de un amper en un segundo producía una f.e.m. de un volt en sus extremos. Por lo tanto, se dirá que la Inductancia Mutua es de un Henry

(*) De aquí se obtiene la teoría general del funcionamiento de los transformadores.

cuando una variación de la intensidad de la corriente en L_1 de un amper en un segundo origina en L_2 una fuerza electro-motriz inducida de un volt. Es decir, que en la figura 70, para que ocurra este caso, L_1 y L_2 deben estar acopladas de una manera determinada.

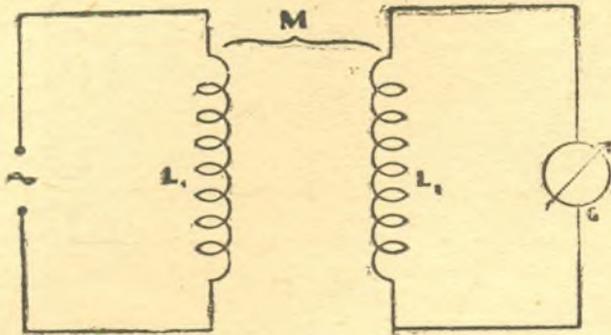


Fig. 70

En Radiotécnica este factor de **Inductancia Mutua** tiene una importancia vital cuando se acoplan circuitos a través de sistemas como los de la figura 70 y 71. Es muy común que se eche a perder la calidad de un juego de bobinas por ser incorrectos los valores de Inductancia Mutua, valores que no pueden fijarse por tanteo, sino que exigen un cálculo previo.

Si observamos la figura 71, se verá que la posición de L_1 con respecto a L_2 es distinta a la de la figura 70; por lo tanto, el campo magnético generado en L_1 por una corriente determinada que lo atraviesa tiene una influencia menor que se traduce en una fuerza electro-motriz inducida menor en L_2 . Se ve que cuanto mayor es el valor de la inductancia mutua, mayor es la fuerza electro-motriz de autoinducción en el circuito inducido. De

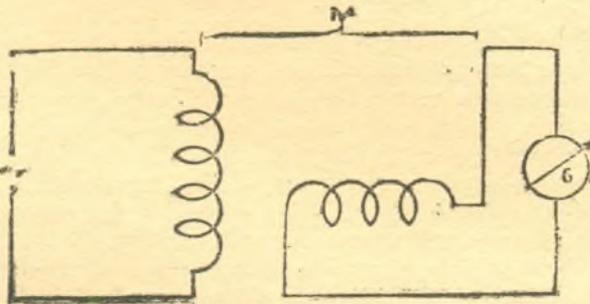


Fig. 71

aquí se desprende la siguiente conclusión: siempre que sea necesario transferir energía se procurará que el valor de la inductancia mutua sea máximo. Esta conclusión se aplica en el estudio de los transformadores.

Observando la figura 72 se ven dos inductancias conectadas en serie de manera que el extremo final de L_1 se conecta con el extremo principio de la L_2 . Tanto las bobinas de L_1 como la de L_2 están colocadas en la misma dirección. En estas condiciones se pregunta cuál es el valor de la inductancia total. En este caso el resultado no se obtiene sumando L_1 y L_2 ; las bobinas están conectadas en serie pero el campo magnético de L_1 influencia al de L_2 y viceversa haciendo que intervenga el fenómeno de la inducción mutua. De tal modo que podríamos escribir una fórmula general para el caso mencionado:

$$L = L_1 + L_2 + (2 \times M) \dots\dots (23)$$

Dicha fórmula nos dice que el valor de la inductancia total cuando se conectan dos inductancias en serie inductivamente (fig. 72), es igual a la

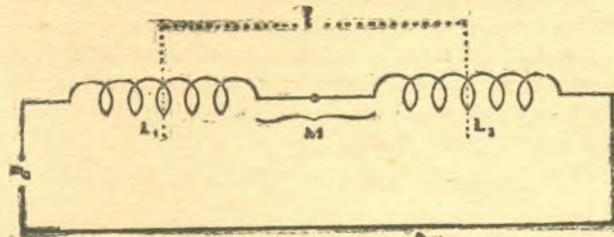


Fig. 72

suma de los valores de las inductancias parciales, más el duplo del valor de la inductancia mutua. Por ejemplo, si

$$L_1 = 2 \text{ Hy}; L_2 = 5 \text{ Hy}; M = 0,5 \text{ Hy},$$

tendríamos:

$$L = L_1 + L_2 + 2 \times M = 2 + 5 + (2 \times 0,5) = 7 + 1 = 8 \text{ Hy}$$

Este resultado se interpreta de la siguiente manera: cuando se tienen acopladas inductivamente dos inductancias de manera tal que la inductancia mutua sea igual a 0,5 Hy y las inductancias parciales 2 y 5 Hy respectivamente, este conjunto se comportará en el circuito como si tuviésemos conectada una inductancia de 8 Hy.

En la práctica se comprueba y también se demuestra teóricamente que si se tienen acopladas dos inductancias como en la fig. 72, de igual valor, el conjunto alcanza un valor máximo cuando la inductancia mutua es igual a una de las inductancias parciales. Así, por ejemplo, si

$$L_1 = 5 \text{ Hy}; L_2 = 5 \text{ Hy}; M = 5 \text{ Hy}$$

$$L = L_1 + L_2 + (2 \times M) = 5 + 5 + (2 \times 5) = 10 + 10 = 20 \text{ Hy}$$

El resultado no deja de ser sorprendente: si tenemos acopladas en serie dos inductancias de un mismo valor, éstas se comportan como si fuera una inductancia de un valor igual a 4 veces el valor de uno de ellos. Conviene que los lectores tengan presente este resultado, pues tiene mucha aplicación en la práctica. Destacamos que en la práctica, este resultado es exacto cuando se trata de inductancias con núcleos de hierro y es aproximado para las inductancias del tipo que estamos estudiando.

En la figura 73 del extremo final del bobinado L_1 va conectado el extremo

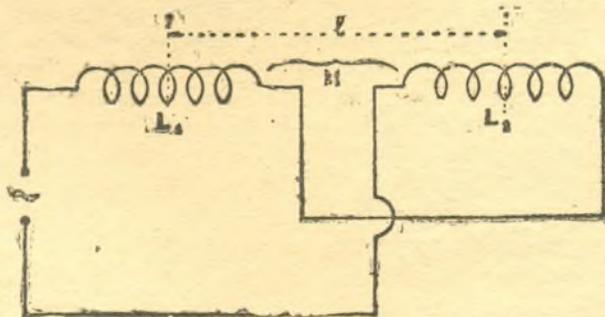


Fig. 73

final de L_2 y los dos extremos de origen se conectan a la fuente de corriente alternada, siendo la dirección de los bobinados la misma. Se observa que estas inductancias han sido conectadas en forma tal que sus campos magnéticos están en oposición, o sea que el campo magnético de L_1 contrarres-

tará el efecto del campo magnético de L_2 y viceversa. La fórmula que da el valor de la inductancia total en este caso es:

$$L = L_1 + L_2 - (2 \times M) \dots\dots\dots (24)$$

Esto significa que si tenemos dos inductancias conectadas en oposición e inductivamente, la inductancia total del conjunto será igual a la suma de los valores de ambas menos el duplo del valor de la inductancia mutua.

Si suponemos que se trata de las mismas inductancias del primer ejemplo de inductancias en serie donde

$$L_1 = 2 \text{ Hy} ; L_2 = 5 \text{ Hy} ; M = 0,5 \text{ Hy}$$

tendremos

$$L = L_1 + L_2 - (2 \times M) = 2 + 5 - (2 \times 0,5) = 7 - 1 = 6 \text{ Hy}$$

De aquí se deduce que en estas condiciones la inductancia total es inferior a la que resulta cuando están conectadas en serie, ya que en este caso parte del campo magnético queda anulado. Además puede verse que si se acercan las dos inductancias de manera que se tenga para la inductancia mutua un valor $M = 2 \text{ Hy}$, tendremos:

$$L = L_1 + L_2 - (2 \times M) = 2 + 5 - (2 \times 2) = 7 - 4 = 3 \text{ Hy}$$

donde se ve que la inductancia total disminuye a medida que aumenta el valor de la inductancia mutua.

Veamos qué ocurre para el caso en que las dos inductancias sean iguales entre sí y la inductancia mutua tenga un valor igual a una de las inductancias. Si

$$L_1 = 5 \text{ Hy} ; L_2 = 5 \text{ Hy} ; M = 5 \text{ Hy}$$

aplicando la fórmula resulta:

$$L = L_1 + L_2 - (2 \times M) = 5 + 5 - (2 \times 5) = 10 - 10 = 0 \text{ Hy}$$

es decir, que la inductancia total es igual a cero; por lo tanto el circuito trabaja como si no hubiera inductancias, puesto que los dos campos magnéticos están en perfecta oposición, de lo que resulta la anulación completa del efecto de inductancia. De lo que hemos dicho se desprende que, combinando dos inductancias y variando la posición de una de ellas (L_1) con respecto a la otra (L_2) e invirtiendo luego las conexiones, etc., se puede obtener una inductancia variable cuyos valores varíen desde un máximo a otro.

Estos conocimientos tuvieron una enorme aplicación desde los comienzos de la radiotelefonía hasta hace unos diez años en los "Variómetros" o "Vario-Cuple" que permiten variar enormemente el rango de onda a sintonizar, como luego veremos. En ciertos aparatos su empleo es insustituible, ya que no existe otro sistema que permita variar desde cero hasta cuatro veces el valor de la inductancia.

Si con un determinado instrumento midiéramos el valor de la inductancia total en la figura 72, suponiendo que a este valor lo llamáramos L' y al valor de la inductancia de la figura 73 lo llamáramos L'' y si la L_1 y L_2 tienen como valores $L_1 = 2 \text{ Hy}$ y $L_2 = 5 \text{ Hy}$ en ambas figuras y suponiendo que las distancias sean estrictamente iguales, podríamos calcular el valor de la inductancia mutua aplicando la fórmula siguiente:

$$M = \frac{L' - L''}{4} \dots\dots\dots (25)$$

es decir, que si

$$L' = 8 \text{ Hy} \text{ y } L'' = 6 \text{ Hy}$$

$$M = \frac{L' - L''}{4} = \frac{8 - 6}{4} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ Hy}$$

Como recordarán los lectores, se había fijado efectivamente para M un valor igual a $0,5 \text{ Hy}$, lo cual podemos calcular si se pudieran medir las inductancias de la manera descripta.

Veamos otro ejemplo: Si $L' = 2500 \mu\text{h}$ (figura 74) y $L'' = 2150 \mu\text{h}$ (figura 75). ¿Cuál será la inductancia mutua entre L_1 y L_2 ? Si aplicamos la

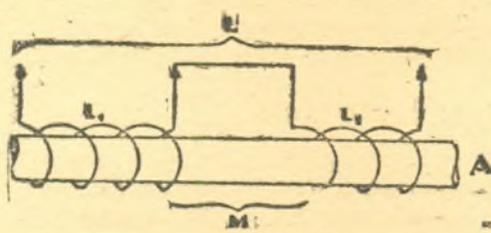


Fig. 74

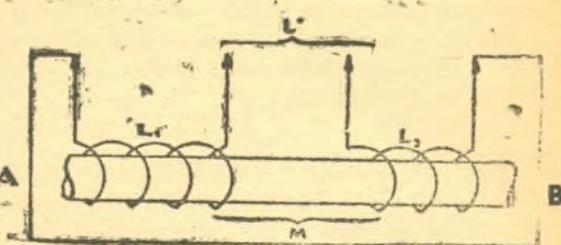


Fig. 75

fórmula (25) tenemos:

$$M = \frac{L' - L''}{4} = \frac{2500 - 2150}{4} = 85 \mu\text{h}$$

es decir, que el valor de la inductancia mutua existente entre las dos bobinas es de $85 \mu\text{h}$.

Si las dos bobinas L_1 y L_2 cuya inductancia mutua hemos calculado fueran iguales, ¿qué valores tendrían? Según la fórmula (23) tenemos:

$$L = L_1 + L_2 + (2 \times M)$$

Si suponemos que L sea el valor medido L' , o sea $2500 \mu\text{h}$ y como M es igual a $85 \mu\text{h}$ podríamos escribir:

$$2.500 = L_1 + L_2 + (2 \times 85) \text{ o sea}$$

$$2.500 = L_1 + L_2 + 170$$

Vemos que los valores de $L_1 + L_2$ sumando 170 da 2.500, entonces restando 170 a ambos miembros para despejar el valor de $L_1 + L_2$, resulta:

$$2.500 - 170 = L_1 + L_2 \text{ o sea}$$

$$2330 = L_1 + L_2$$

Como L_1 y L_2 son iguales, valdrá cada uno la mitad de 2330, o sea:

$$\frac{2330}{2} = 1165$$

Es decir, que tanto L_1 como L_2 tienen un valor igual a $1165 \mu\text{h}$, o sea $0,001165 \text{ Hy}$. Este cálculo se aplica mucho en la práctica, especialmente para los transformadores de frecuencia intermedia y transformadores de alta frecuencia en general. Como conclusión, los lectores pueden ver cuál es la razón por la cual las fórmulas (21) y (22) servían y eran exactas solamente en los casos expuestos y en los cuales la influencia entre sus campos magnéticos era nula y por lo tanto el valor de la inductancia mutua es cero y por eso si $L = L_1 + L_2 + 2M$ y siendo $M = 0$; $L = L_1 + L_2 + 0 = L_1 + L_2$ para el caso de inductancias en serie y, por lo que ven, matemáticamente se demuestra.

23a. LECCION

Reactancia Inductiva

Hemos visto en todos los casos, en que una inductancia por la acción contraria a la corriente principal producida por la corriente de autoinducción para cuando la intensidad de la corriente tiende a aumentar y lo contrario cuando esa intensidad tiende a disminuir. A dicho fenómeno, por el

hecho de actuar de manera tal que se opone al paso de la corriente, se le ha dado el nombre de **Reactancia Inductiva**, siendo ésta lógicamente mayor cuanto mayor sea el valor de la inductancia. Universalmente, la reactancia inductiva se representa con la letra X_L , o sea la letra X por la reactancia y el subíndice L por lo de inductiva puesto que existe otro tipo de reactancia, como veremos más tarde. La fórmula que da el valor de la reactancia es la siguiente:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \dots\dots\dots (26)$$

La unidad en que se mide la reactancia es el Ohm (Ω). Veremos que una vez calculado el valor de la reactancia se coloca en el círculo una resistencia de un valor equivalente la corriente llega a un valor igual, por lo cual se ve que la inductancia en los circuitos de corriente alternada actúa aparentemente como si fuera una resistencia.

Veamos cómo se aplica la fórmula (26). Los factores que intervienen en dicha fórmula son ya conocidos por nuestros lectores. Así π vale 3,1416, f es la frecuencia y L la inductancia; pues bien, para calcular la reactancia inductiva sólo se necesita conocer la frecuencia de la corriente y el valor de la inductancia. En la figura 76 se dan los valores del problema propuesto. Aplicando la fórmula (26) tenemos:

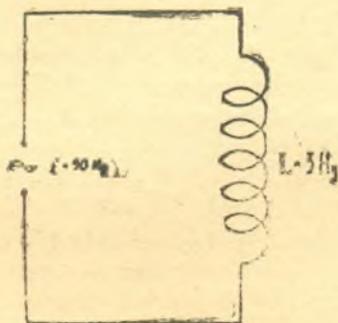


Fig. 76

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L = 2 \times 3,1416 \times 50 \times 3 = 945 \Omega$$

De donde se deduce que si en lugar de $L = 3$ Hy colocamos una resistencia igual a 945Ω , por el circuito pasaría una intensidad de corriente igual a través de aquélla.

Veamos qué sucede si en lugar de una frecuencia $f = 50$ Hz tuviésemos una frecuencia $f = 500$ Hz siendo L la misma, es decir, 3 Hy.

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L = 2 \times 3,1416 \times 500 \times 3 = 9450 \Omega$$

Se ve que la reactancia inductiva se ha hecho diez veces mayor, es decir, que para una misma inductancia, si aumenta la frecuencia de la corriente, la reactancia del circuito aumenta en la misma proporción y por lo tanto, veremos más tarde que la intensidad de la corriente disminuye.

Veamos qué pasa si en lugar de aumentar la frecuencia se aumenta la inductancia. Supongamos, en el ejemplo de la figura 76, que $L = 30$ Hy' siendo $f = 50$ Hz.

Aplicando la fórmula (26) tenemos:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L = 2 \times 3,1416 \times 50 \times 30 = 9450 \Omega$$

Se ve, como en el caso anterior, que la reactancia inductiva se ha hecho más grande, vale decir, que si aumentamos la inductancia o la frecuencia, la reactancia inductiva se hace mayor, en la misma proporción. Claro está que en la práctica no suele ser muy fácil efectuar estos cambios; sin embargo, estos conocimientos tienen muchas ventajas para el estudiante.

A fin de facilitar los cálculos, insertamos los ábacos N.º 6 y N.º 7, que son de una gran utilidad práctica porque abrevian los cálculos.

Por otra parte, los lectores ya han tenido oportunidad de apreciar las ventajas que reporta el empleo de dichos ábacos. El modo de usarlo es análogo al de la Ley de Ohm, pues conociendo la inductancia y la frecuencia se unen los puntos correspondientes y en la columna de los "Ohms" leemos la reactancia correspondiente.

Podría darse el caso de que conociendo el valor de la reactancia y la frecuencia, se quisiera calcular el valor de la inductancia conectada. El procedimiento es el mismo. Se unen los puntos conocidos por medio de una recta que se prolonga hasta cortar la columna de inductancias y en el punto de intersección se lee el valor exacto de la inductancia.

El ábaco N.º 6 da los valores de reactancias para inductancias empleadas en bajas frecuencias y el ábaco N.º 7 para las inductancias empleadas en altas frecuencias.

INDUCTANCIAS DE VALORES ELEVADOS

Los pocos cálculos realizados por los lectores les habrán llevado a pensar cuáles son las diferencias que existen entre una inductancia de 1000 μ h, o sea 0,001 Hy y otra de 10 Hy, en lo que respecta a sus valores constructivos. Si se tratara de realizar una inductancia de 0,001 Hy no habría ninguna dificultad, pero en cambio cuando se trata de una de 10 Hy — de acuerdo a los conocimientos adquiridos — nos encontraríamos con algunas dificultades, como veremos en seguida. Por lo pronto se observa que una de las inductancias es 10 veces mayor que la otra. Tratemos de diseñar la inductancia de acuerdo a la fórmula (20) ya conocida. Como se conoce L, demos valores a d y l para saber qué alambre y cuántas vueltas necesitamos. De inmediato podemos ver que el tamaño de la inductancia ha de ser muy grande. Supongamos, por ejemplo, que el diámetro sea igual a 1 metro, o sea $d = 100$ cm. y que la longitud de la bobina sea también de 1 metro, o sea $l = 100$ cm. Por

lo tanto, el valor de K será $\frac{d}{l} = \frac{1}{1} = 1$, entonces, según la tabla V,

K = 0,688; luego:

$$N = \sqrt[2]{\frac{L \times l}{0,00987 \times d^2 \times K}} = \sqrt[2]{\frac{10 \times 100}{0,00987 \times 1 \times 1 \times 0,688}} = \sqrt[2]{\frac{1000}{0,00696}}$$

$\sqrt{1436000} = 378$ espiras aproximadamente.

y el diámetro del alambre será de una medida tal que las 378 espiras quepan

exactamente en los 100 cm. o sea que tendrá: $\frac{378}{100} = 3,78$ espiras por

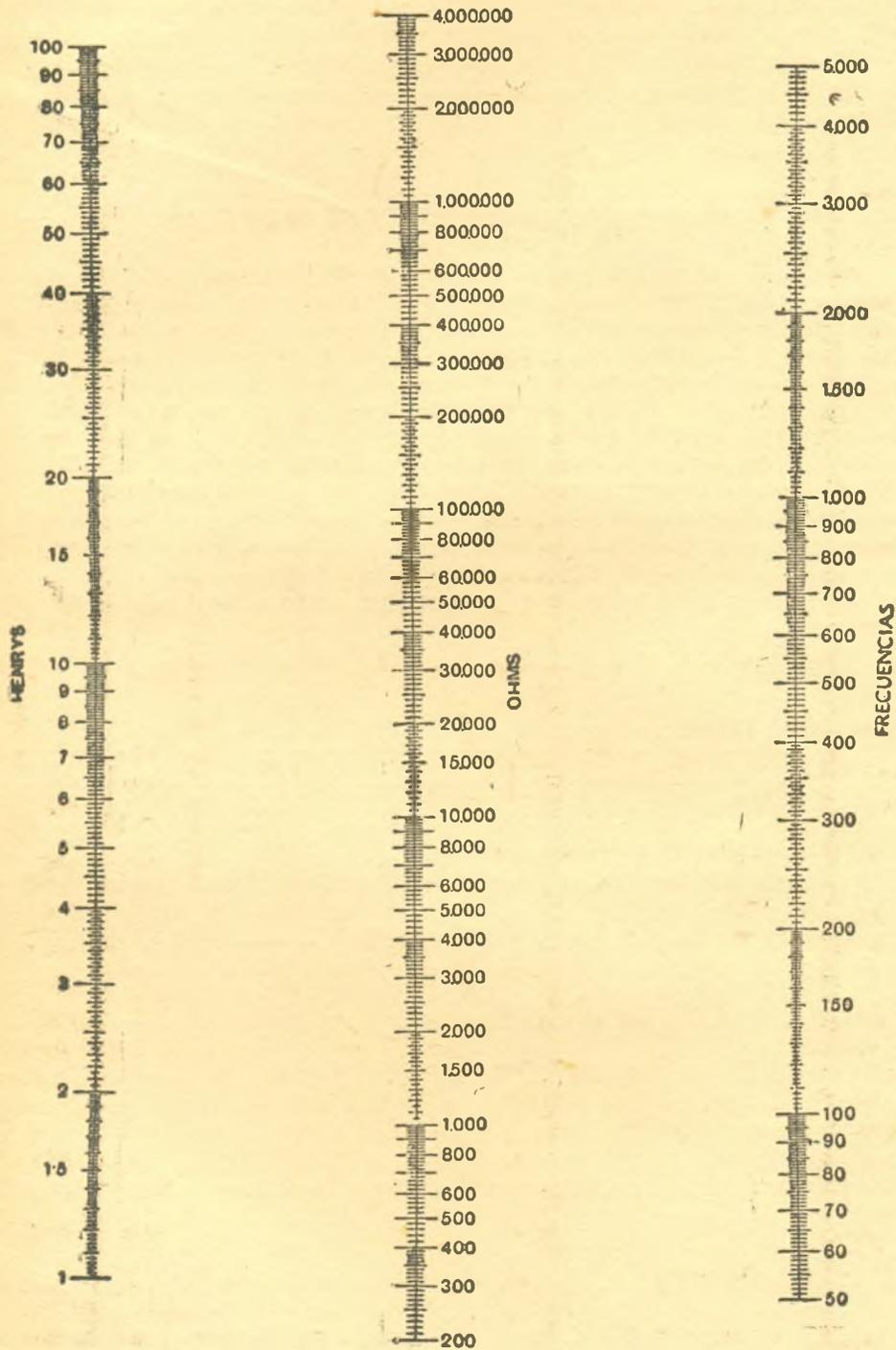
centímetro, es decir, que el diámetro del alambre será igual a $\frac{10}{3,78} = 2,6$

milímetros, con su aislación. ¿Qué dirán los lectores de semejante inductancia? ¿En qué receptor podrían colocar una inductancia de un metro de largo y un metro de diámetro? Y si se recuerda que en un amplificador se emplean inductancias que superan a veces a los 5000 Hy, el problema aparece más notable todavía. En seguida daremos la solución a este interesante problema.

EXPERIMENTO. — Recordemos lo que ocurre cuando se introduce una barra de hierro dulce dentro de un solenoide (IV Lección, tomo 1 página 29); la intensidad del campo magnético aumenta por la acción de los imanes moleculares del hierro. Pues bien; en lugar de un solenoide como el

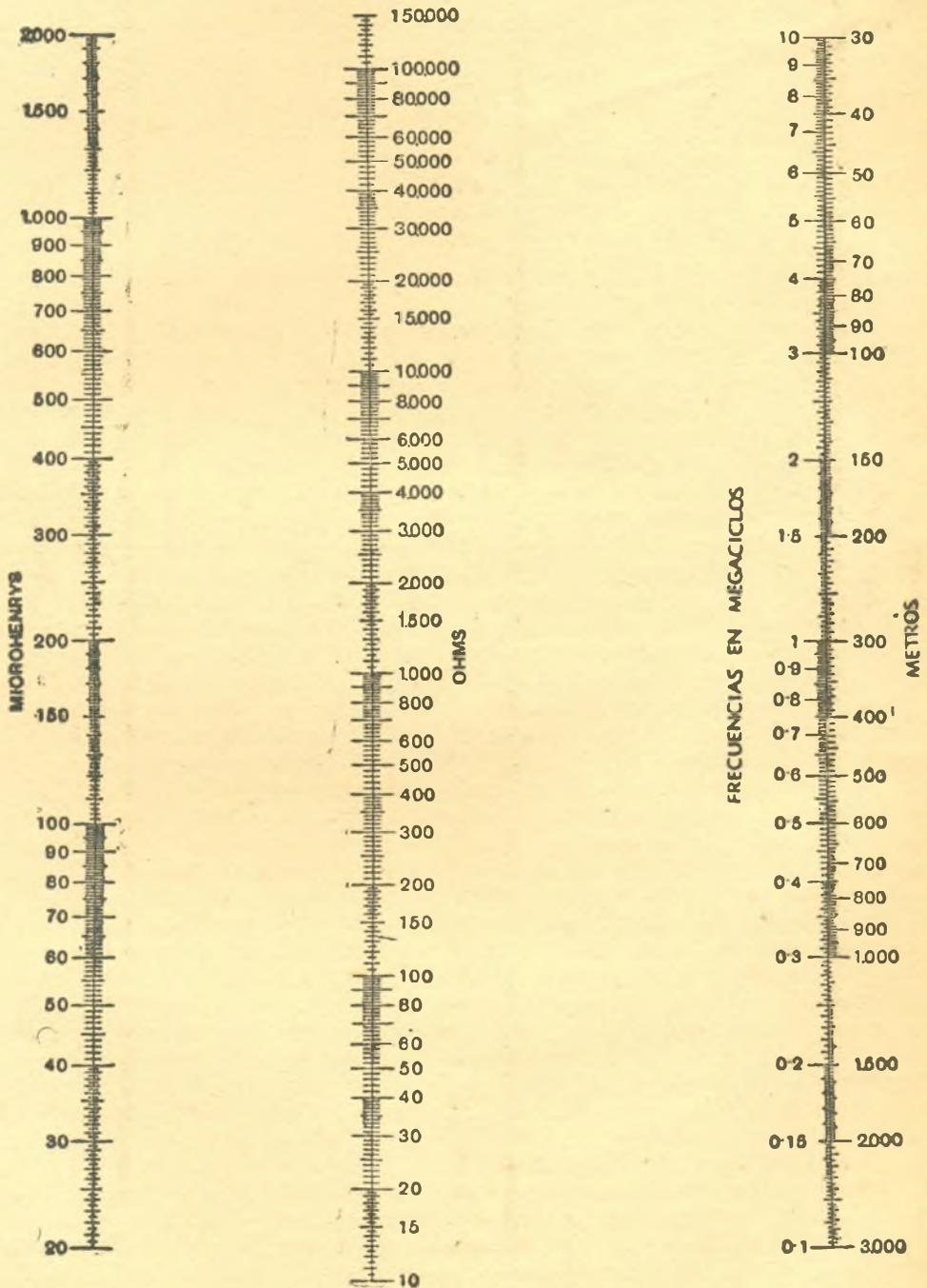
ABACO N.º 6

Reactancias de inductancias para bajas frecuencias



ABACO N.º 7

Reactancias de inductancias para altas frecuencias



de la figura 13, consideremos la figura 77 donde la corriente que atraviesa el solenoide es del tipo de corriente alternada. Supongamos por un momento,

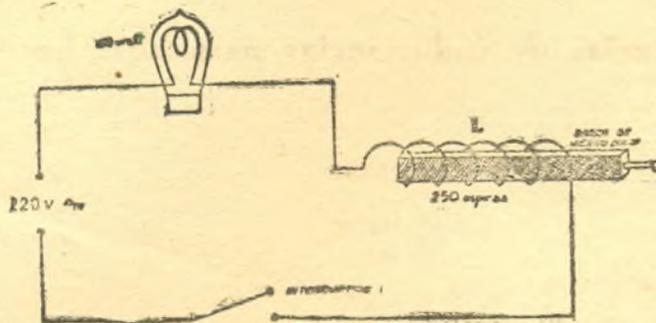


Fig. 77

que la barra de hierro dulce no existe. Cerremos el circuito por medio del interruptor. Veremos entonces que la lámpara se enciende casi como si estuviera conectada a la línea directamente siempre que el valor de L sea muy pequeño, es decir, cuando se trate de una inductancia de pocas vueltas, en cuyo caso la reactancia inductiva conectada en serie con la lámpara es pequeña no afectando mayormente su reactancia en serie. Lo contrario sucedería si la inductancia fuese de muchas vueltas, notándose en consecuencia, que la lámpara ilumina con menor intensidad.

Supongamos ahora que se tiene todo el sistema conectado con una inductancia L tal que la lámpara tenga una determinada intensidad de luz, e introduzcamos lentamente la barra de hierro dentro de la inductancia. En cuanto la barra se aproxima a la inductancia notamos que la lámpara pierde intensidad de luz y si continuáramos deslizando la barra hacia el interior de la inductancia observaríamos que la luz se debilita notablemente y hasta deja de iluminar si el valor de L es bastante grande. ¿Qué nos indica a primera vista este experimento? El hecho de que la lámpara pierda intensidad de luz significa que la corriente que la atraviesa es tan débil que no llega a encender del todo la lámpara, es decir, que la reactancia inductiva ha aumentado (Ohms) por el hecho de introducir una barra de hierro dulce en el interior del solenoide. ¿Cómo se explica este fenómeno?

Recordemos lo que dijimos en la Lección 19.^a con respecto a la corriente de autoinducción. Vimos que se producía esa corriente por la acción del campo magnético variable generado por la corriente que atraviesa el solenoide. Como la fuerza electro-motriz de autoinducción es mayor cuanto mayor es la intensidad del campo magnético variable, resulta que al introducir una barra de hierro (núcleo) dentro del solenoide reforzamos el campo magnético variable y por lo tanto también es mayor la fuerza electro-motriz de autoinducción. Ha aumentado, entonces, el valor de la inductancia, es decir, que se comporta como si hubiésemos aumentado el número de espiras. Ahora bien; si ha aumentado el valor de la inductancia L por la acción del hierro dulce (núcleo), se producirá lógicamente un aumento también en la reactancia inductiva, por cuya razón disminuye la intensidad de la corriente. Y es la causa por la cual la lámpara conectada en serie con el circuito pierde parte de su intensidad luminosa.

De este experimento se deducen muchas conclusiones interesantes. Una de las más importantes es la posibilidad de construir inductancias de un valor de 20 a 30 Hy en un espacio no mayor de una inductancia de 0,0008 Hy, para lo cual basta introducir en el interior del carrete una barra de hierro dulce. Cuando pasemos a estudiar transformadores en general, explicaremos el significado de los núcleos (de hierro y de aire).

IMPEDANCIA DE UN CIRCUITO REACTIVO

La palabra impedancia se emplea en los circuitos de corriente alternada para significar "impedimento", es decir, algo que se opone a que la corriente circule por el circuito. En corriente continua su equivalente sería la resistencia óhmica.

Acabamos de ver que ese significado lo atribuimos a la reactancia inductiva, pero esto sólo acontece en un caso ideal hipotético; veamos cuándo. Como ya saben nuestros lectores, las inductancias están hechas con alambre; por lo tanto, tendrá una determinada resistencia óhmica, que puede ser de 1 ó 2 ó 3, etc. Ω , pero que existe y que está en el circuito y que ejerce en consecuencia alguna acción puesto que esa resistencia se opone a que la intensidad de la corriente pase por el circuito. En un caso ideal en que la resistencia propia del alambre de la inductancia fuese igual a cero, actuaría únicamente la reactancia inductiva oponiéndose al pasaje de la corriente. Pero en la práctica, no puede presentarse nunca este caso ideal; por lo tanto, la impedancia en un circuito de corriente alternada donde actúan reactancias inductivas deben existir resistencias óhmicas.

La fórmula que nos da el valor de la impedancia (Z) en circuitos reactivos (*) se expresa de la siguiente manera:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots (27)$$

donde Z es impedancia, R es la resistencia de la inductancia en corriente continua y X_L es la reactancia inductiva que, como vimos vale $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$.

Por lo tanto, en lo sucesivo, cuando se trate de calcular impedancias de circuitos reactivos los dibujaremos como se ve en la figura 78 donde R representa la resistencia en corriente continua de la impedancia y X_L es la reactancia inductiva de la misma o también puede darse el valor de L, para lo cual en este caso habría que conocer el valor de f para calcular X_L .

Veamos ahora cómo se emplea dicha fórmula.

Supongamos que el circuito de la fig. 78 donde $R = 10 \Omega$ y $X_L = 5000 \Omega$.

¿Cuál es la impedancia del circuito?

$$\begin{aligned} 1.^\circ Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10 \times 10 + (5000 \times 5000)} = \sqrt{100 + 25000000} \\ &= \sqrt{25000100} = 5000 \text{ Ohms prácticamente.} \end{aligned}$$

2.º Si $R = 50 \Omega$ y $X_L = 100 \Omega$ tendremos:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{50 \times 50 + (100 \times 100)} = \sqrt{2500 + 10000} \\ &= \sqrt{12500} = 111,5 \Omega \end{aligned}$$

De aquí deducimos que, cuando la resistencia óhmica es muy pequeña con respecto a la reactancia inductiva, puede despreciarse prácticamente el valor de la resistencia óhmica, como en el primer ejemplo; en el segundo, el valor de la resistencia óhmica llega a alcanzar un 10 o/o del valor de la impedancia: por eso su efecto es apreciable al paso de la corriente eléctrica por el circuito.

Posiblemente, habrá causado asombro a los lectores el hecho de que estando conectada la resistencia en serie con una reactancia inductiva, éstas no se sumen como si fuesen resistencias en serie, sino que dicho valor se ob-

(*) Significa reactancia.

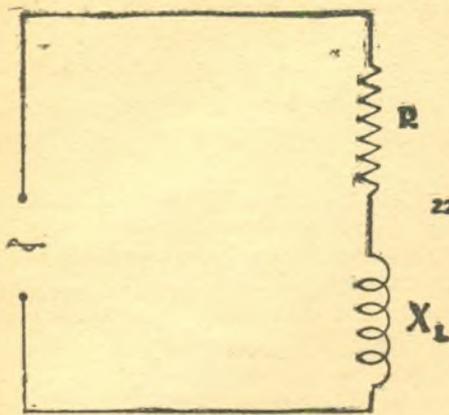


Fig. 78

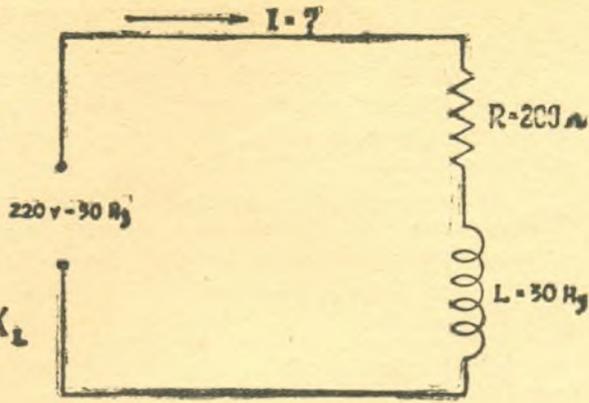


Fig. 79

tiene de una manera un poco complicada si se quiere. Antes de explicar esta cuestión, necesitamos repasar algunos conceptos con respecto a las impedancias.

En general, debe tratarse de reducir en lo posible la resistencia óhmica, o sea la resistencia de las inductancias en corriente continua, porque muy a menudo impiden alcanzar los resultados que se buscan. Pero donde es realmente importante evitar que la resistencia óhmica sea excesiva es en las inductancias empleadas en los receptores de radio en circuitos que trabajan en paralelo o en serie con condensadores. Dichas inductancias tienen reactancias, como veremos en seguida, a las frecuencias de trabajo, relativamente reducidas, de manera que una resistencia óhmica elevada reduce enormemente la eficiencia de dichos circuitos. Por ahora, veremos la primera parte del cálculo que conviene retener, y en su oportunidad — cuando tratemos de circuitos sintonizados estudiaremos la segunda.

Veamos un ejemplo: tomemos una inductancia tal cuyos valores sean iguales a los calculados en el primer ejemplo de inductancias, es decir, que:

$$L = 215,6 \mu\text{h} \text{ o bien igual a } 0,0002156 \text{ Hy.}$$

$N = 143$ espiras; $d = 1,9$ cm. y el espesor del alambre lo obtuvimos según puede verse en la Tabla VI.

Calculemos la resistencia óhmica R que tendrá dicho bobinado, aplicando la fórmula N.º 5:

$$R = \frac{\rho \times l}{s}$$

por lo tanto, tenemos que calcular el valor l que en esta fórmula es la longitud del alambre en metros, y s es la sección de alambre en mm. cuadrados. Para calcular la longitud del alambre, bastará recordar la longitud de la circunferencia; llamando h a dicha longitud, tendremos:

$$h = \pi \times d$$

donde $\pi = 3,1416$; d es el diámetro del círculo que en nuestro caso es el diámetro de la bobina y que mide 1,9 cm. Luego:

$$L = \pi \times d = 3,1416 \times 1,9 = 5,97 \text{ cm.}$$

o sea: cada vuelta de la bobina tiene 5,97 cm. de longitud, y como tenemos 143 espiras, el resultado final será:

$$l = h \times N = 5,97 \times 143 = 853 \text{ cm.}$$

Como en la fórmula (5), l está expresado en metros, siendo 1 metro igual

a 100 centímetros, 853 cm. serán 8,53 mts. Luego $l = 8,53$ mts.

La sección s se obtiene directamente de la Tabla II que nos da para un diámetro de 0,16 mm. una sección de 0,0201 mm². ; luego $s = 0,0201$ mm². el valor de ρ lo obtenemos de la Tabla I que da para el cobre un valor de 0,018. Aplicando ahora la fórmula (5) y sustituyendo valores:

$$R = \frac{\rho \times l}{s} = \frac{0,018 \times 8,53}{0,0201} = 7,64 \Omega \text{ aproximadamente.}$$

Conocemos ya el valor de $R = 7,64 \Omega$ que necesitamos para utilizar la fórmula $Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$. Supongamos ahora que dicha inductancia está atravesada por una intensidad de corriente determinada de alta frecuencia de 500 Khz. Para evitar cálculos, empleamos el ábaco N.º 7 que para $L = 215,6 \mu\text{h}$ nos da una frecuencia de 500 Khz., una reactancia inductiva $XL = 680 \Omega$.

Conocidos ya todos los valores, calculemos la impedancia.

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2} = \sqrt{7,64 \times 7,64 + (680 \times 680)} = \sqrt{463058} = 680 \Omega$$

Es decir, que aparentemente, la resistencia óhmica no tiene ninguna importancia; pero recordemos este ejemplo cuando estudiemos el "Efecto Skin".

CALCULO DE LA INTENSIDAD EN CIRCUITOS REACTIVOS —

La única diferencia que existe en la fórmula de Ohm para corriente alterada para el cálculo de la intensidad de la corriente, consiste en que en lugar de escribir $I = \frac{E}{R}$ escribiremos $I = \frac{E}{Z}$ (28), puesto que en

dichos circuitos Z representa el valor de todos los elementos que intervienen para que la intensidad de la corriente no pase libremente.

Tomemos ahora el circuito de la figura 79. Recordemos que en todos los casos debe conocerse el valor de la frecuencia, puesto que la intensidad de la corriente es distinta para distintas frecuencias. Para calcular la intensidad de la corriente necesitamos conocer el valor de la impedancia Z puesto que ya conocemos el valor de $E = 220$ V. y el de $f = 50$ Hz.

Veamos cuánto vale XL

$$XL = 2 \times \pi \times f \times L = 2 \times 3,1416 \times 50 \times 30 = 9430 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2} = \sqrt{200^2 + 9430^2} = \sqrt{200 \times 200 + (9430 \times 9430)} = \sqrt{88964900} = 9432 \Omega \text{ entonces } I = \frac{E}{Z} = \frac{220}{9432} = 0,0233 \text{ Amp.}$$

En este ejemplo se ve qué sencillo resulta este cálculo.

En el mismo circuito, si la corriente tuviese una frecuencia $f = 500$ Hz, la intensidad de la corriente sería bastante menor; por lo tanto, se ve que, en un circuito inductivo, a medida que la frecuencia aumenta, la intensidad de la corriente disminuye. A título de comprobación los lectores pueden repetir el cálculo para la frecuencia $f = 500$ Hz.

Estos conocimientos, que el lector va incorporando lentamente, son de gran importancia y constituyen la base de la Radiotécnica.

CONDENSADORES

FUNCIONAMIENTO

Dos cuerpos aislados entre sí, es decir, que no se toquen, constituyen un condensador. En la figura 80, por ejemplo, tenemos dos placas aisladas

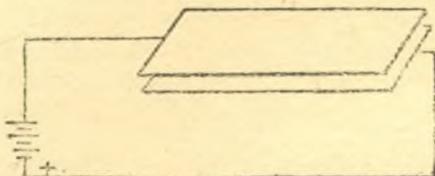


Fig. 80

entre sí por el aire que las separa y conectadas, una de ellas al positivo de una batería y la otra al negativo. También forman un condensador dos cables de corriente eléctrica que se hallan a distinto potencial o nivel eléctrico. El medio aislador que existe entre dos cuerpos de distinto potencial se llama DIELECTRICO y puede ser cualquier sustancia con tal de que sea un buen aislador. Así, por ejemplo, el aire, la mica, la porcelana, la parafina, el papel parafinado, etc., son sustancias dieléctricas.

COMO TRABAJA UN CONDENSADOR

Muchos de nuestros lectores conocerán cómo es un condensador en su aspecto exterior y quizá su construcción interior, pero no han llegado a descifrar la razón por la cual el condensador se carga, o mejor dicho, por qué después de haber conectado un condensador a una batería y luego de retirado el contacto, se puede hacer saltar una chispa entre los extremos del condensador.

Pasaremos a explicar dicho fenómeno que es la base del funcionamiento de los condensadores. En la figura 81 tenemos conectado un circuito similar al de la figura anterior, pero además en serie con el circuito hay un galvanó-

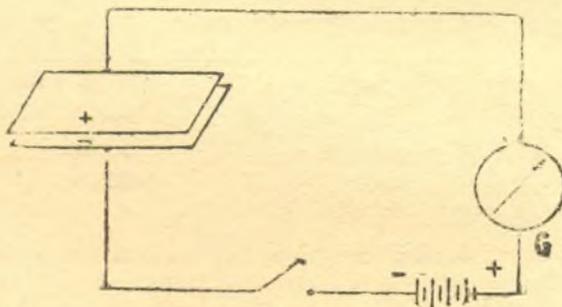


Fig. 81

metro y un interruptor. En el mismo instante de cerrar el interruptor notamos que la aguja del galvanómetro se ha desplazado muy rápidamente volviendo luego a su posición de equilibrio. Este efecto es idéntico al que produciría una corriente que atravesara el circuito en el mismo instante de cerrar el interruptor. Recordemos que entre las dos placas no existe conexión común sino que, por el contrario, se encuentran aisladas entre sí. ¿Por dónde ha pasado, pues, la corriente que acusa el galvanómetro? Hagamos un ligero repaso de la teoría electrónica (tomo 2.º de "CURSOS"). Como se recuerda,

los átomos están compuestos de electrones y protones. Pues bien; dijimos que entre las dos placas había un medio aislador, que podía ser aire, mica, etcétera. Es decir, que cualquiera sea la materia que actúe de aislador (dieléctrico) estará formado por átomos que tendrán sus respectivos protones y electrones. Como se recuerda, en las Lecciones 5a., 6a., 7a. y 8a., dijimos que los electrones se movían dentro de órbitas a una gran velocidad y que un buen conductor se diferenciaba de un aislador en que el primero tenía más electrones disponibles que el segundo, es decir, que en un material aislador los electrones disponibles son muy escasos. Cuando el circuito de la fig. 81 se conecta al interruptor los pocos electrones que se encuentran libres son atraídos por la placa positiva del condensador, haciendo que dichos electrones se desplacen atravesando el galvanómetro y la batería hasta llegar a la placa negativa. Como los electrones no encuentran camino libre para volver hacia la placa positiva a través del dieléctrico, sino que, por el contrario, el aislador lo impide, los electrones se acumulan alrededor de la placa negativa y debido a que los electrones no pueden volver a sus respectivos átomos, la corriente cesa inmediatamente, dando esto origen a que el galvanómetro acuse ese rápido pasaje de corriente.

Si desconectamos todo el sistema y dejamos el condensador en su posición, ésta habrá adquirido características determinadas que veremos enseguida. ¿Tendrá algún potencial eléctrico entre las dos placas cuando se haya retirado la batería? En efecto, puesto que la placa negativa de la figura 81 y por lo tanto con respecto a la placa que antes era positiva tiene un potencial determinado que ahora es negativo porque de ese lado ha ganado electrones. Puesto que existe un potencial o diferencia de nivel eléctrico, éste podría desarrollar una energía eléctrica, como veremos en seguida. Pero recordemos que del lado de la placa que era positiva, perdió electrones, de manera que se ha cargado positivamente.

En la figura 82 tenemos el condensador descripto y al cual hemos retirado la batería completando el circuito con el galvanómetro y el interruptor. Si cerramos dicho interruptor notamos que se produce la desviación de la aguja del galvanómetro, pero en sentido contrario al que tenía cuando se utilizó la batería. Claro es que la aguja después del primer impulso se vuelve a la posición cero, lo que significa que ha cesado de circular corriente a través del circuito. ¿A qué se debe este fenómeno? Si repetimos que la placa que estuvo conectada a la batería en su polo negativo aumentó sus electrones, de manera que, una vez retirada la batería, dicha placa retiene

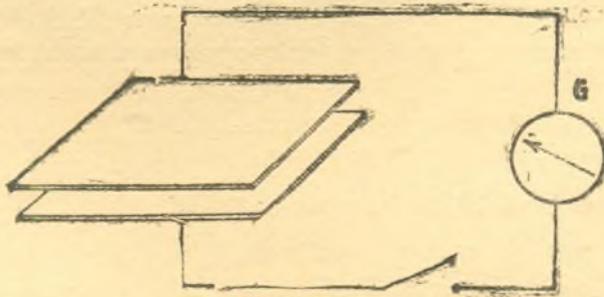


Fig. 82

Fig. 82

esos electrones, lo que significa que queda cargada a un potencial negativo determinado. En cambio, la placa que estaba conectada al polo positivo de la batería ha perdido por ese lado electrones, de manera que una vez retirada la batería la placa quedará cargada positivamente.

Por esta razón, si en la figura 82 cerramos el interruptor, lógicamente la corriente tendrá un sentido inverso al de la figura 81. Los lectores podrán observar que nos fundamos aquí sobre los mismos conceptos expuestos

y aplicados en las Lecciones 5a., 6a., 7a., y 8a., tomo II, y por ello queremos insistir sobre la importancia de los mismos.

Además, hemos dicho que una placa adquiere carga negativa mientras la otra se carga positivamente porque la primera ha retenido electrones y la otra los ha perdido. De manera, que, como las placas son en realidad cuerpos, la analogía es completa con respecto a los cuerpos frotados. Con la diferencia de que estos últimos adquieren carga eléctrica por medio del frotamiento mientras que los condensadores la adquieren por medio de una batería o pila eléctrica que permite poner en movimiento los electrones.

Remontémonos a la Lección 15a., en la cual estudiamos la ley de Coulomb. Cuando conectamos la batería vimos claramente que el circuito era atravesado por una corriente de cierta duración. Por lo tanto, podemos decir que el condensador ha absorbido una cierta energía eléctrica que se podrá calcular si se conoce cuál ha sido la intensidad de la corriente y el tiempo que ha tardado en pasar. Bastará para ello aplicar la fórmula (9) ya conocida:

$$Q = I \times t$$

cuyo resultado está dado en Coulomb.

Ya sabemos, pues, que el condensador de la figura 81 ha absorbido una energía eléctrica que se puede calcular mediante la fórmula (9). Además, sabemos que el condensador ha retenido dicha energía una vez retirada la fuente de energía eléctrica, y prueba de ello es el experimento de la fig. 82 por medio del cual constatamos que el condensador quedaba cargado. En la práctica la energía almacenada no es igual a la absorbida, como veremos más adelante, debido a pérdidas propias del condensador, siendo dichas pérdidas tanto menores cuanto mejor aislador sea el dieléctrico empleado.

CAPACIDAD. — Como todos los factores que intervienen en la electricidad (resistencias, inductancias, f.e.m. inducida, etc.), se miden de acuerdo a unidades de comparación bien establecidas: el condensador tiene también su unidad que se llama **Unidad de capacidad** y que se conoce con el nombre de "Farad".

Se ha denominado así a la unidad de capacidad, en memoria del físico Miguel Faraday, que estudió los fenómenos inherentes al condensador. Entendemos por capacidad el poder de retener carga eléctrica (electrones). El Farad se define de la siguiente manera: **se dice que un condensador tiene un farad cuando al aplicar una f.e.m. de un Volt ha almacenado un Coulomb (un amper en un segundo), o también podríamos decir que cuando por un condensador ha pasado un amper en un segundo y la diferencia de potencial es igual a un Volt, dicho condensador tiene una capacidad de un Farad.**

La fórmula general que relaciona la capacidad, la f.e.m. y la carga eléctrica es la siguiente:

$$Q = C \times E \dots\dots\dots (29)$$

donde Q es la carga eléctrica en Coulombs.

C, es la capacidad del condensador en Farad.

E, es la fuerza electro-motriz aplicada.

El Farad es una unidad muy grande que en la práctica no tiene mayor aplicación. Los más usados son los condensadores del orden de los millonésimos de Farad o milmillonésimos de Farad y otros más pequeños todavía. Por esta razón se emplean más comúnmente dos submúltiplos del Farad; el **microfarad** que se abrevia μf y el **micromicrofarad** que es la millonésima parte de un microfarad y que se abrevia $\mu\mu f$, de manera que si tenemos un condensador de 0,000005 Farad, escribiremos 5 microfarad, pues en el primer caso diríamos cinco millonésimos de Farad y en el segundo directamente cinco microfarad que es una expresión mucho más sencilla. También, en caso de capacidades muy pequeñas, 0,000000000250 Farad diríamos 250 millonésimos de millonésimos de Farad, que utilizando en cambio el microfarad pue-

de escribirse $0,000250 \mu f$ o sea 250 millonésimos de microfarad, o bien empleando el micro microfarad, $250 \mu\mu f$.

El principiante experimentará cierta dificultad al comienzo en el manejo de estas unidades; pero bastará aplicarlas prácticamente en los condensadores para que su uso resulte fácil y sencillo.

EXPERIENCIA EN RECEPCION RADIOTELEFONICA

Presentamos el más elemental de los receptores. Consta de una longitud determinada de alambre que actúa como antena; una galena, un par de teléfonos y una toma de tierra. Con dicho sistema pueden hacerse recepciones de una sola estación, si es que la longitud entre el extremo A de la antena y el extremo B de la toma de tierra tiene un valor aproximado a la cuarta parte de la longitud de onda de la estación transmisora. Por lo tanto, si se quiere oír una estación que transmite con una frecuencia tal que

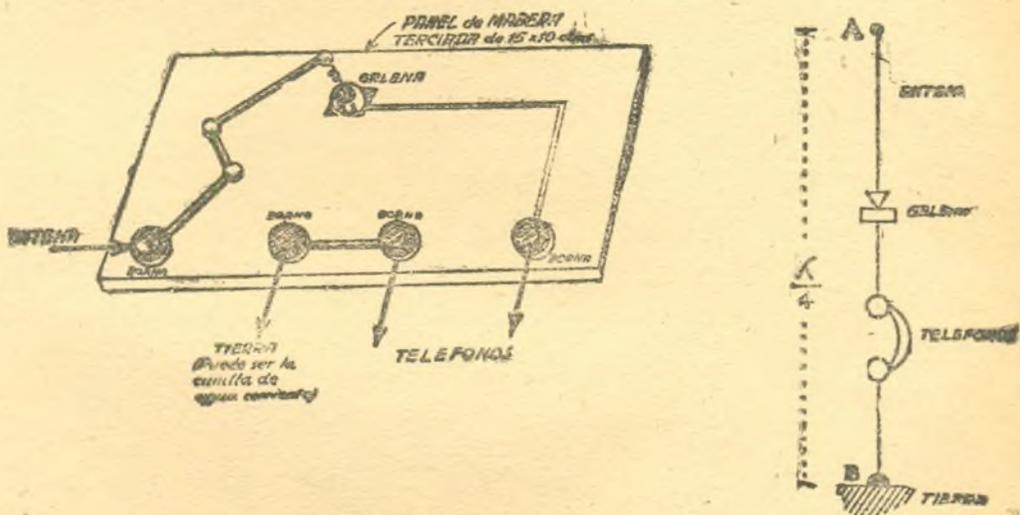
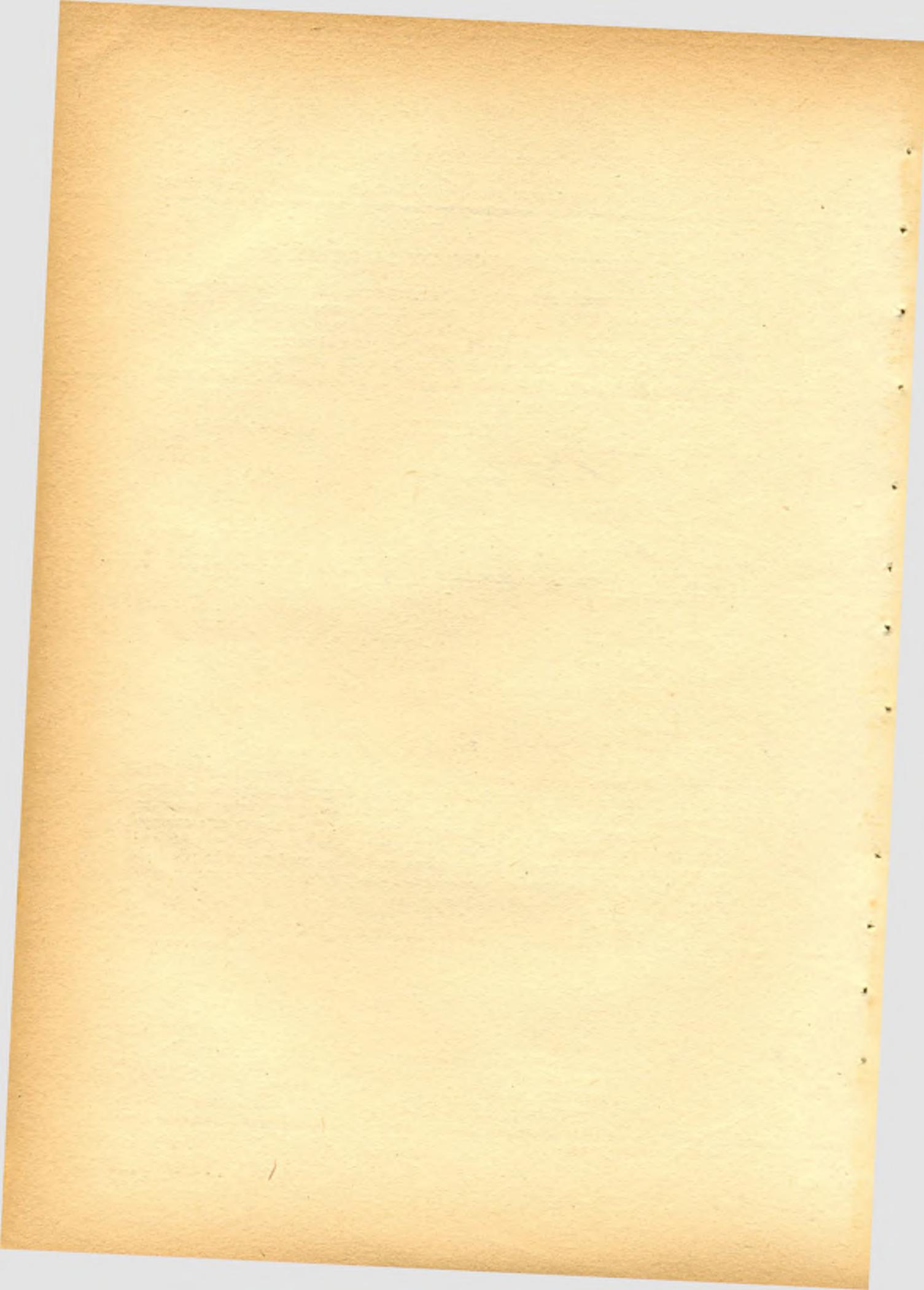


Fig. 83

su longitud de onda sea 300 metros, entonces, entre los puntos A y B habrá una distancia de 75 m. aproximadamente. Es importante que los lectores tomen buena nota de las experiencias que efectúen, pues dichas notas les servirán más tarde para trabajos más complicados. Para armar este aparato basta seguir el esquema de la figura 83. Es preciso subrayar que estas experiencias sólo darán resultados positivos cuando se realicen en la proximidad de las estaciones transmisoras, pues el sistema es de muy poca sensibilidad.



25a. LECCION

Características de los condensadores usados en radiotécnica

En la lección anterior vimos cuáles eran las características de un condensador. Estudiemos ahora las distintas formas que pueden tomar para su aplicación en la Radiotécnica y cómo se calculan para su construcción.

En la Radiotécnica se emplean condensadores de distintas capacidades y distintos dieléctricos. Veamos primero cuál es su aspecto exterior. Los condensadores pueden ser fijos o variables. Se llaman variables cuando por un medio cualquiera se puede variar la capacidad del condensador haciendo que las placas (armaduras) del mismo se alejen o se acerquen, y son condensadores fijos cuando sus valores de capacidad se mantienen inalterables. En las figuras 84, 85, 86, 87 y 88, pueden verse dibujados distintos tipos de condensadores que pasaremos a analizar de inmediato.

La figura 84 representa el tipo de condensador conocido con el nombre

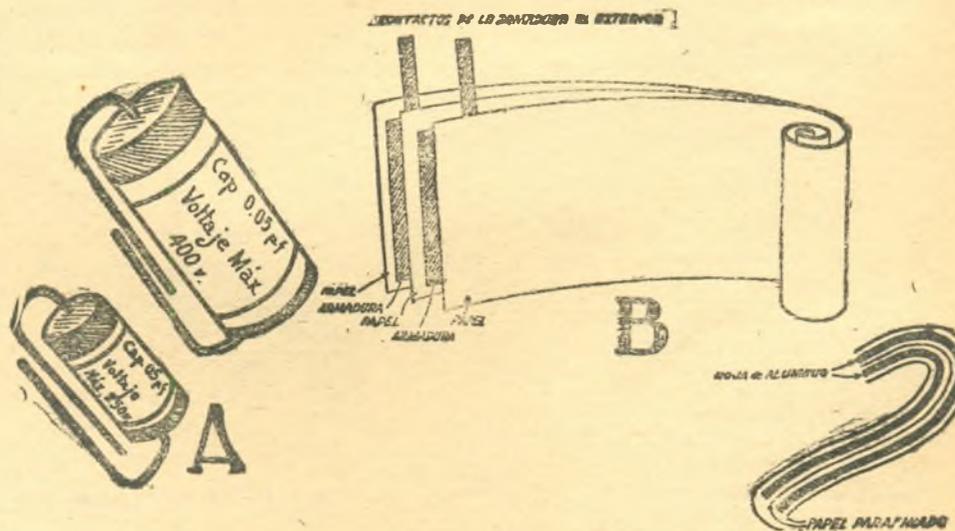


Fig. 84

de "condensador tubular". Está formado por dos hojas de aluminio muy delgadas (armaduras) y aisladas entre sí (dieléctrico) por medio de papel parafinado. Como este tipo de condensador es el más usual y sus capacidades son relativamente elevadas, se lo enrolla en forma de cilindro consiguiéndose de esta manera capacidades elevadas en un espacio muy reducido. La figura 84 B da el detalle constructivo y la figura 84 A el aspecto exterior de los mismos.

En la figura 85 pueden verse los condensadores del tipo Mica, es decir, condensadores con dieléctrico de mica. Dichos condensadores están formados por delgadas plaquitas (armaduras) de estaño, aluminio, cobre, bronce, etc.,

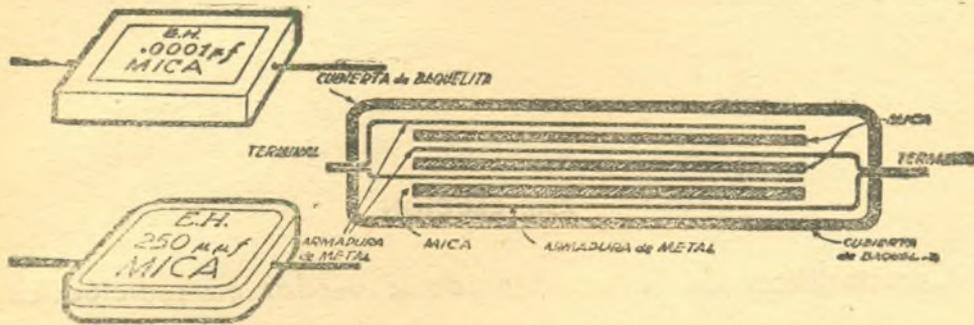


Fig. 85

aislados entre sí por medio de mica. En la figura 85, a la derecha, puede verse un corte de este tipo de condensador.

La figura 86 muestra un condensador variable, es decir, un condensador tal que nos permite variar el valor de la capacidad entre ciertos límites que dependen de las características propias del condensador. La generalidad de estos tipos de condensadores variables son de dieléctrico de aire, es decir, que entre las placas (armaduras) del mismo no existe ningún sólido colocado ex profeso, sino sencillamente el aire que los rodea. Estos condensadores están formados por dos partes vitales: una llamada vulgarmente chapas fijas (A), por estar rígidamente unidas al armazón del condensador, pero aislada por (C), y la otra parte la constituyen las chapas móviles (B) que están fijadas a un eje de metal que rota entre dos cojinetes generalmente formado por rulemanes (bolillas de acero). El movimiento de las chapas se produce sin juego lateral para evitar que las mismas se toquen con las chapas

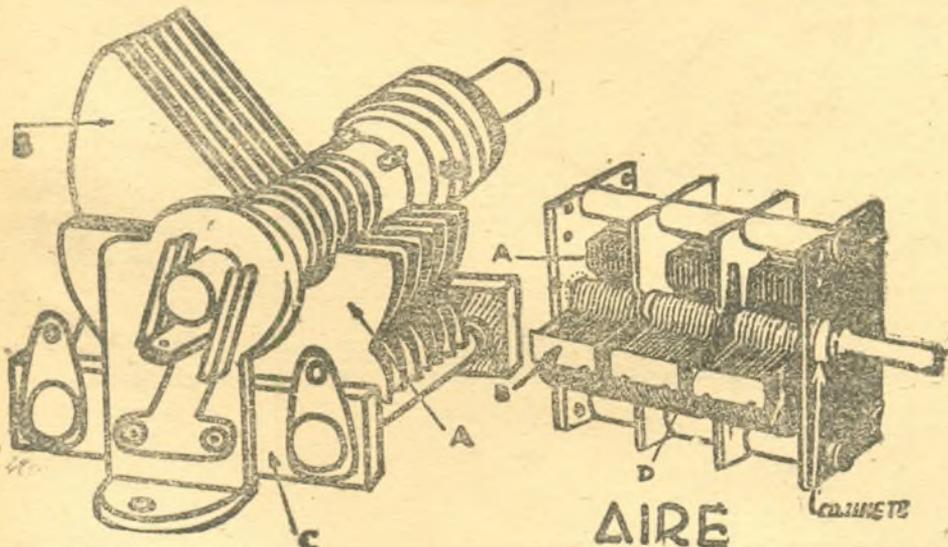


Fig. 86

fijas, de tal manera que cada chapa móvil pasa exactamente por el centro entre las chapas fijas asegurando de esta manera la constancia de la capacidad. Los condensadores variables pueden ser simples o en **tandem**, siendo estos últimos los más empleados actualmente, debido a que se usan

varios circuitos sintonizados en los receptores modernos. Se llaman condensadores en **tandem** por estar montados varios condensadores variables sobre el mismo armazón y eje. En la figura 86, a la derecha, puede verse un condensador en tandem triple. Se observará que las chapas móviles (B) están montadas para las tres secciones sobre un mismo eje de metal, estando las chapas fijas (A) separadas entre sí en las tres secciones por un tabique (E) de hierro a fin de "aislarlas" magnéticamente. Estas chapas de hierro forman a la vez parte del armazón constituido por las caras exteriores del condensador. Como las chapas móviles hacen contacto con el armazón, a fin de que éste sea el mejor posible, se le agrega un elástico (D) de una forma especial que asegura dicho contacto. Los condensadores variables en tandem pueden constar de dos, tres, cuatro, cinco, etc., secciones, según las necesidades del circuito, siendo los más usuales hasta de cuatro secciones.

Generalmente todas las secciones de un mismo condensador tienen la misma capacidad; los más usuales son los $0,0001 \mu f$; $0,00025 \mu f$; $0,00035 \mu f$; $0,0004 \mu f$; $0,00041 \mu f$; $0,00045 \mu f$. En casos especiales, alguna sección del "tandem" tiene una capacidad menor (empleados en circuitos superheterodinos), pero poco a poco van cayendo en desuso.

Existen otros tipos de condensadores variables conocidos con el nombre muy generalizado de "Trimmer" y "Padding". Estos son de tamaño muy reducido, y generalmente el dieléctrico es de mica. Se emplean en circuitos sintonizados donde se ajustan una sola vez para poner a punto el receptor. Cuando el ajuste deba ser extremadamente riguroso, para cambiar de temperatura e higrométricos (humedad) se emplean trimmers y paddings con dieléctrico de aire, de tamaño muy pequeño. Los trimmers y paddings difieren poco de los condensadores de mica, pues la única diferencia está en que las armaduras de los primeros son elásticas, de manera que por medio de un tornillo se las aprieta y ajusta contra el dieléctrico, aumentando o disminuyendo así la capacidad. En seguida veremos qué importancia tiene en la capacidad la distancia entre armaduras.

Entre los condensadores fijos, uno de los tipos más usados es el llamado **Electrolítico**, cuyos detalles daremos oportunamente en el capítulo de filtros. Un tipo muy usual es el de la figura 87, existiendo también otro cuyo aspecto exterior es semejante al de los tubulares de la figura 84. Hay

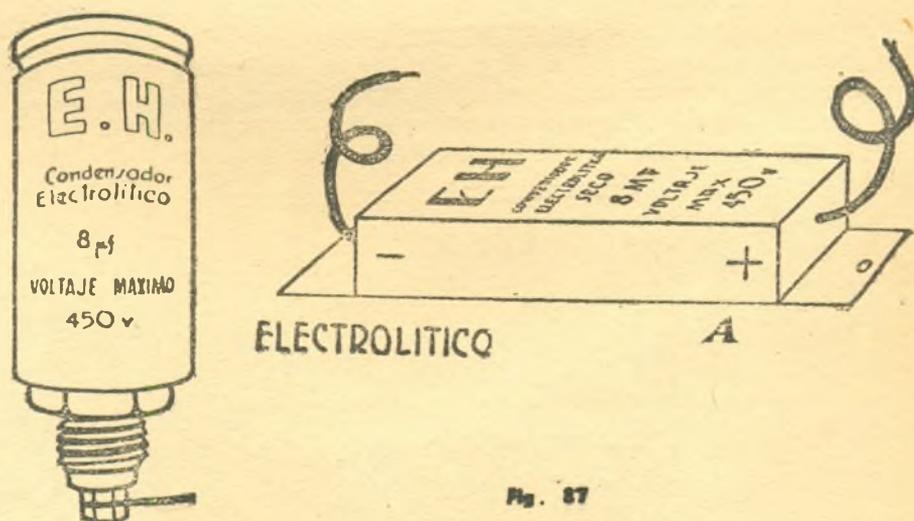


Fig. 87

dos tipos de condensadores electrolíticos: húmedos y secos. Actualmente se va popularizando más el tipo de condensador seco (fig. 87A), por ser su uso más cómodo.

En todos los tipos de condensadores, el factor quizás más importante es la "aislación", pues muy a menudo ocurre que entre los extremos del condensador se produce una caída de voltaje elevada, de manera que es preciso tener en cuenta, cuando se adquiera un condensador, el voltaje con que

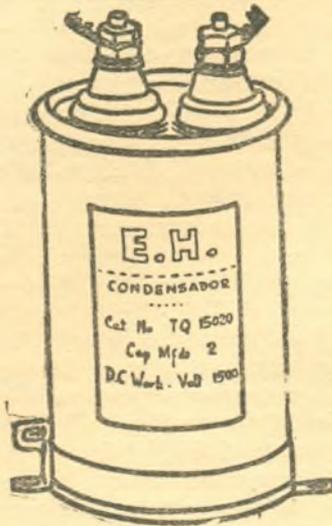


Fig. 88

irá a trabajar. Por este motivo se fabrican condensadores con aislaciones que permiten usarlos hasta con 30.000 Volts o más, si se conectan en serie. En la figura 88 se muestra un condensador para trabajar en circuitos de alto voltaje.

CAPACIDAD DE CONDENSADORES

Cuando estudiamos la Lección 24a. lo qué era un condensador, vimos que éste se cargaba cuando se conectaba entre las dos armaduras una f.e.m. Pues bien; examinemos ahora si la carga varía cuando se aumenta el espesor del dieléctrico, la superficie de las armaduras, etc.

EXPERIMENTO

Construyamos un condensador y llamémosle múltiple, pues constará de varias placas (armaduras), colocadas una encima de otra, como se explicará a continuación. Procedamos primero a recortar hojas de papel transparente según las dimensiones de la figura 89; cortemos luego hojas de

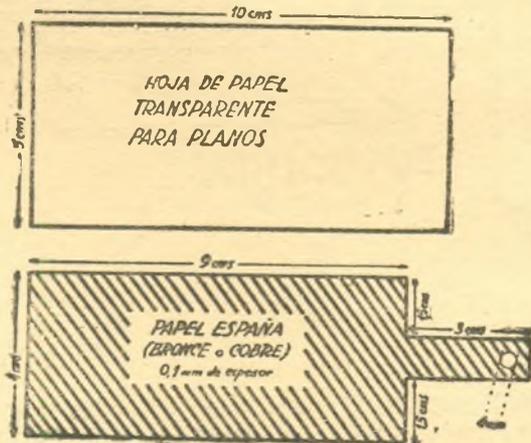


Fig. 89

papel de España, esto es, láminas de bronce según las medidas de la figura 89. Tomemos la lámina de papel de España y peguémosla sobre el papel transparente, simétricamente, como puede verse en la figura 90. Conviene pegarla con cuidado y sin impregnar toda la superficie, sino solamente dos o tres puntos, lo suficiente para impedir que se corran, porque si se impregna toda la superficie resultará que el dieléctrico ya no será de papel, sino

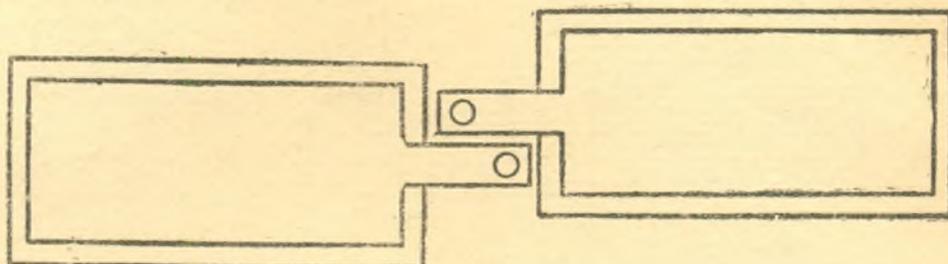


Fig. 90

una combinación de papel y goma de pegar, y como la constante que corresponde a esta combinación es difícil conocer, no será posible calcular después la capacidad del condensador construido. Una vez seca la goma, se superponen las hojas según se ve en la figura 90 con la chapa hacia abajo y una con el saliente a la izquierda, y otro a la derecha, etc. Notaremos además que todas las placas de metal quedan aisladas entre sí por medio de una hoja de papel. Hay que tener cuidado de que no quede ninguna sin aislar. Se aplican una encima de la otra hasta formar una pila, como se ve en la

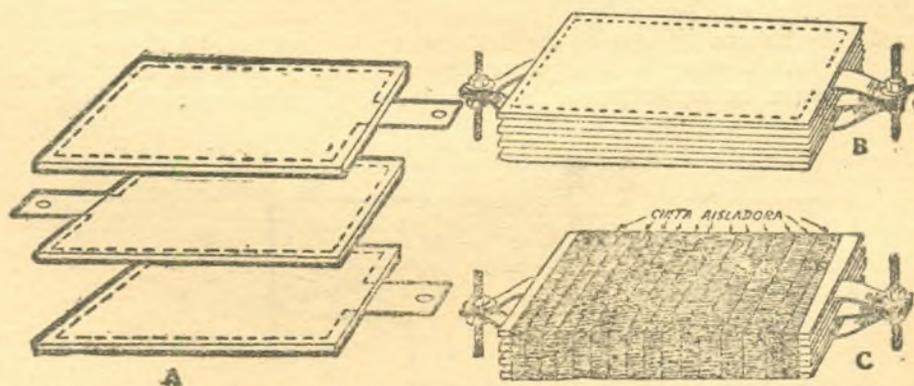


Fig. 91

figura 91 (A; B; C), de 20 plaquitas de metal aisladas entre sí y de manera que queden 10 salientes hacia un lado y las otras 10 del otro.

La última chapa de papel de España, quedará sin aislar, por lo que se la cubrirá con un papel igual al de las otras. Se cubrirá todo con un cartón arriba y otro debajo, del mismo tamaño, a fin de que no se deforme la pila. Por último, se envuelve el conjunto con una cinta aisladora dejando las salientes libres. Como a las salientes se les ha practicado previamente un agujero, se limpian sus bordes con un esmeril, se la atraviesa por un tornillo apretándolas con una tuerca, según se ve en la figura 91 C, cuidando de colocar antes una arandela de bronce debajo de la cabeza del tornillo y

otra debajo de la tuerca. La conexión eléctrica que resulta se ve en la figura 92 A, donde no dibujamos las veinte placas de papel de España por razones de espacio, pero sería lo mismo agregadas 14 placas más con su respectiva aislación. La línea punteada representa el dieléctrico y la llena la pla-

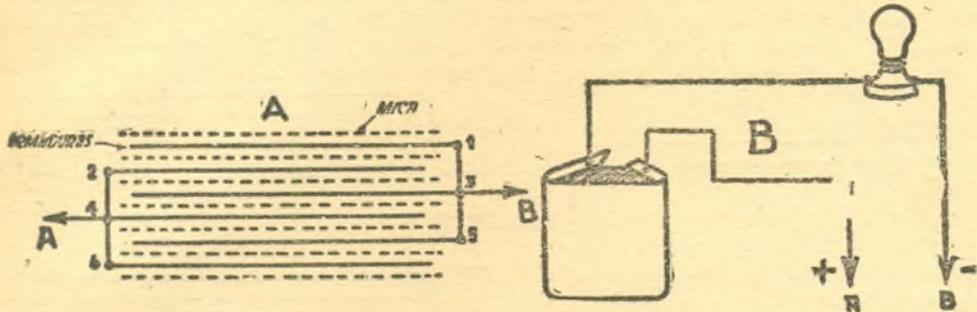


Fig. 92

ca (armadura). Si se conectan los extremos a una batería se repetirá el fenómeno explicado en la Lección 24a. Creo innecesario explicar que cada dos chapas constituyen un condensador. Así, por ejemplo, las placas 1 y 2 forman un condensador porque se conectan a potenciales distintos; lo mismo sucede con la 2 y 3; con la 3 y 4; con la 4 y 5; con la 5 y 6, etc., de donde el lector se dará cuenta del por qué de la denominación de condensador múltiple. Antes de someter el condensador a experimentos, probemos previamente si no está en corto circuito. Esta prueba se realiza para evitar que se toquen las armaduras opuestas, y hay que tener presente que el lado izquierdo debe estar aislado del derecho. Para verificar si realmente están aislados entre sí, se puede construir un probador como lo indica la fig. 92 B. Dicho probador no es de lo más eficiente, pero en cambio es accesible para cualquier bolsillo. Consta de una pila chata de linterna y una lamparita de unos 6,3 Volt como los que se emplean para iluminar los diales de receptores de radio. Se conectan los puntos marcados A y B a los extremos del condensador; si la lamparita no se enciende, significa que el condensador es-

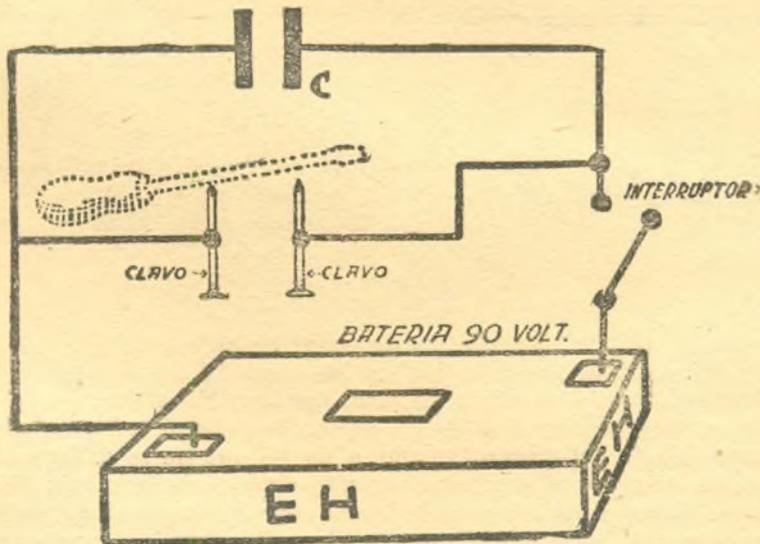


Fig. 93

tá en buenas condiciones. En caso de que se encienda, habrá que revisar cuidadosamente el condensador y buscar dónde está el corto circuito. Una vez comprobado que el condensador está en buenas condiciones, se lo aprieta fuertemente y se vuelve al probador; si la lamparita no se enciende, significa que el condensador está en condiciones de ser sometido a pruebas de trabajo. Construyamos el circuito de la figura 93. Vemos claramente que está formado por el condensador "C", cuya construcción explicamos: una batería de las usadas en Radio que puede ser de 45 Volts como mínimo. Cuanto mayor sea la f.e.m. (batería) usada, más eficaz será la experiencia. Además, necesitamos un interruptor y un par de clavos de carpintero que se montarán sobre una tablita para que queden en posición vertical. Tengamos el circuito preparado de acuerdo a la figura 93. Cerremos el interruptor. Los lectores sabrán, por lo que se dijo en la Lección 24a., que el condensador dará origen a una pequeña corriente instantánea y se cargará; luego quedará en reposo. Entonces probemos abrir el interruptor. Tomemos un destornillador o un alambre desnudo y cerremos el contacto en los dos puntos de los clavos. ¿Qué ocurrirá entonces? Pues que en el mismo instante de conectar los dos clavos salta una chispa. Esta chispa ha sido producida por la carga del condensador, pues al cerrar el circuito de éste se ha producido una corriente en sentido contrario al de carga y a través de los clavos que se han puesto en contacto. Este sencillo experimento dará al lector una idea clara de que dicho condensador realmente se carga de electricidad. Si el lector poseyera corriente continua en la red de canalización, podría realizar estos experimentos con más comodidad y mayor economía siguiendo el circuito de la figura 94. Es el mismo de la figura 93, con la sola diferencia de que se ha sustituido la batería por la red de canalización y además se ha agregado una lámpara para evitar que se quemé el condensador en caso de corto circuito y que salten al mismo tiempo los fusibles de la instalación eléctrica. Debemos tener bien presente la magnitud de la chispa provocada por la carga del condensador.

Una vez realizada esta experiencia, habrá que construir un segundo condensador similar al anterior, con la diferencia de que en lugar de utilizar una sola hoja de papel como dieléctrico, se emplearán en este caso dos hojas de papel. En este caso, el condensador tendrá, naturalmente, un die-

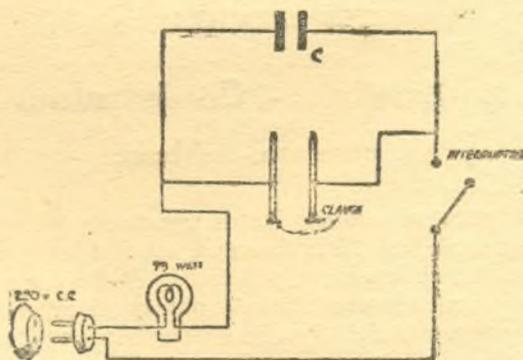


Fig. 94

léctrico de espesor doble. Construyamos el condensador de la misma manera como se hizo el primero y en todas las hojas de papel donde antes iba una sola, se colocarán dos, dándole el acabado antes mencionado. Se conectará este nuevo condensador en lugar del primero, según la figura 93 ó 94. Inmediatamente de realizada la experiencia de carga y descarga del condensador, notaremos que la chispa producida durante la descarga es de menor magnitud.

Si realizamos un tercer condensador de análogas características a las del primero y segundo, pero utilizando una triple hoja de papel como dieléctrico, y realizamos la experiencia de la figura 93, se notará que la chispa es menor aún que en el caso anterior.

De aquí se desprende la siguiente conclusión: a medida que aumenta el espesor del dieléctrico, es decir, a medida que aumenta la distancia entre placas del condensador, la carga del mismo disminuye. Por lo tanto, si el condensador admite menor carga cuando aumenta el espesor del dieléctrico, su capacidad evidentemente se reduce en razón inversa al espesor del dieléctrico.

Si el lector tiene curiosidad por seguir verificando este fenómeno, puede construir un cuarto condensador de características semejantes a los anteriores, pero utilizando como dieléctrico un papel más delgado que el que empleamos en la primera experiencia. Se notará que, una vez sometido a la experiencia de la figura 93, la chispa producida durante la descarga es de una magnitud mayor que en el primer experimento, lo cual afirmaría lo que ya establecimos cuando se dijo que a medida que aumenta el espesor del dieléctrico, disminuye la capacidad; y en el caso contrario, referente al último experimento, en el cual se redujo el espesor del dieléctrico, la capacidad del condensador aumenta puesto que la chispa producida en la descarga es de mayor magnitud.

Si el condensador utilizado, estuviera formado por diez placas en lugar de veinte, y empleáramos el mismo dieléctrico del primer experimento, podríamos demostrar teóricamente que la capacidad del condensador se reduce a la mitad. En la experiencia se manifestaría por una chispa de una magnitud mucho menor que la obtenida en el primer experimento. De aquí resulta una nueva conclusión, a saber: se puede aumentar la capacidad de un condensador (o disminuirla), aumentando o disminuyendo el número de placas que lo forman.

26a. LECCION

Cálculo de condensadores.- Condensadores en serie y en paralelo.- Abacos

Puesto que ya tenemos conocimientos generales sobre condensadores estudiaremos ahora una de las fórmulas más empleadas para el cálculo de los condensadores en las aplicaciones prácticas. Dicha fórmula relaciona la superficie de las placas, el número total de placas, el espesor del dieléctrico y una constante que depende del tipo de dieléctrico empleado y se expresa de la siguiente forma:

$$C = \frac{0,0885 \times S \times (n-1) \times \epsilon}{10^6 \times d} \dots\dots\dots (30)$$

donde: S es la superficie de una placa en cm²; n es el número total de placas; d es el espesor del dieléctrico en cm.; ϵ^* es la constante dieléctrica cuyos valores están dados en la Tabla VII; 10⁶ significa 10 × 10 × 10 × 10

(*) ϵ : Letra griega que se lee épsilon.

TABLA VII

VALOR DE CONSTANTE DIELECTRICA ϵ

Material		Material	ϵ
Acete de oliva	3 a 3,3	Cuarzo	4,5 a 5
" " petróleo	2 a 2,2	Ebonita	2,3 a 3,2
" " ricino	4,5 a 4,8	Fibra dulce roja	2
" " transformadores	2,2 a 2,7	" roja	5 a 8
Acetona	21	" dura gris	1,19
Acido acético	6,5	" dura negra	2,7
Agua destilada	81	Flint doble	6,6 a 6,9
" a 14° C.	83,8	Goma laca	3,1
Aire a 700 mm. de mercurio		Glicerina	56
de presión	1*	Gutta-percha	3,3 a 4,9
" " 100 atmósferas de		Hidrógeno	0,997
presión	1,05	Hielo de 0° Centigrado	78
" " 5 mm. de mercurio		" " -130° "	11,6
Alcohol amillico	0,99941	" " -160° "	4,04
" etilico	15 a 16	" " -198° "	2,83
" metílico	24 a 27	Isolantite	3,6
" propílico	32,6	Maderas blandas	2 a 3
Anhidrido carbónico	22,8	" duras	3 a 6
Anilina	1,0004	Mármol	9,5 a 11,5
Azufre	7,5	Mica	5 a 8
Bakellita C.	2,6 a 3,9	Micarta	8
" dielectro	4 a 8,5	Parafina	1,98 a 2,3
" micarta	5 a 7,5	" y cera	1,9 a 2,3
Barnices	4,5 a 6	Petróleo	2 a 2,2
Bencina	4,5 a 5,5	Porcelana	4,4 a 6,8
Benzol	2,3	Papel seco	2 a 2,5
Caucho puro	2,4	" parafinado	3,6
" vulcanizado blando	2,1 a 2,5	" azulado	2 a 3,2
" " duro	2 a 2,9	Placa fotográfica (film)	6,8
Celuloide	2 a 3,5	Resina	2,5 a 2,6
Cera amarilla	1,8	Seda	4,6
" ceresin	1,8	Sulfuro de carbono	2,8
" virgen	2,5	Selenio	10,2
Colodio	3 a 3,2	Vaselina	2
Cristal	3,7 a 4	Vidrio	5 a 10
	5,8 a 7,6	" pirex	5 a 6

(*) Se tomó el aire como unidad y se le dió valor 1 y se comparó con los demás, obteniéndose los valores de la tabla VII.

$\times 10 \times 10$, y C la capacidad obtenida con dicha fórmula, que viene expresada en microfarad.

Veamos cómo se aplica en la práctica. Sea el condensador del primer ejemplo de la lección anterior. La cara útil de cada placa es la que se enfrenta con la siguiente. Como en este caso todas son exactamente iguales siendo sus dimensiones las indicadas en la figura 89, se tendrá que la superficie S será igual a $4 \text{ cm.} \times 9 \text{ cm.} = 36 \text{ cm}^2$, de manera que $S = 36 \text{ cm}^2$; el número de placas del condensador era $n = 20$ y el espesor del dieléctrico supongamos que sea $d = 0,05 \text{ mm.}$; pero como en la fórmula d está expresado en cm., habrá que reducir los mm. a cm. y se tendrá: $d = 0,005 \text{ cm.}$ La constante dieléctrica ϵ para el papel, según la Tabla VII es: de 2 a 2,5. Tomemos en nuestro caso el valor 2 para facilitar los cálculos. Como se conocen todos los valores que intervienen en la fórmula, podemos calcular el valor de la capacidad, o sea:

$$C = \frac{0,0885 \times S (n-1) \times \epsilon}{10^6 \times d} = \frac{0,0885 \times 36 \times 19 \times 2}{10^6 \times 0,005} = 0,0248 \mu f$$

prácticamente $0,025 \mu f$.

Calculemos ahora la capacidad del condensador del segundo ejemplo donde, como se recordará, el dieléctrico empleado consta de dos hojas de papel, de manera que:

$$C = \frac{0,0885 \times S (n-1) \times \epsilon}{10^6 \times d} = \frac{0,0885 \times 36 \times 19 \times 2}{10^6 \times 0,01} = 0,0122 \mu f$$

prácticamente la mitad del anterior.

ABACO N.º 8

Este ábaco facilita al lector la tarea del cálculo de condensadores, pues igual que los ábacos anteriores, su empleo simplifica enormemente las operaciones. Si se quisiera calcular la capacidad de un condensador dado, se procederá de la siguiente manera: Primero se fija en la línea de espesores de dieléctricos el punto que corresponde al valor del dieléctrico de nuestro condensador (supongamos que se considere el condensador del primer ejemplo de la lección anterior), o sea $0,005 \text{ cm.}$ que determina el punto A. Luego se busca en la línea de superficies de chapas de condensador.

$$[S \times (n-1)] \quad \text{o sea } 36 \times 19 = 684 \text{ cm}^2$$

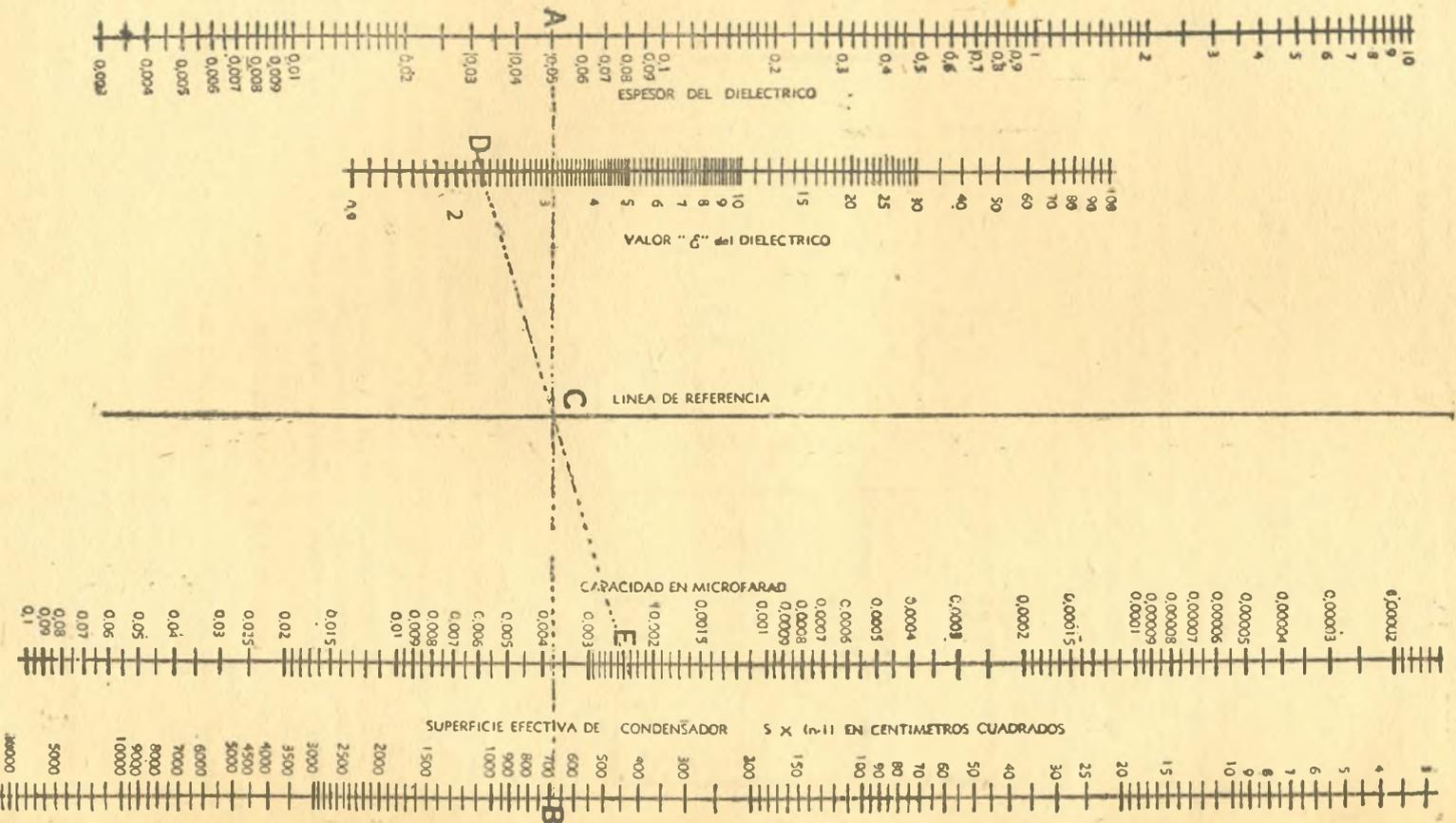
el punto que corresponde a la superficie de la placa del condensador, es decir, el punto B para nuestro ejemplo (684). Se unen los puntos A y B por medio de una recta que cortará a la línea de referencia en el punto C. Determinado C, basta ubicar el valor de la constante dieléctrica para conocer la capacidad. En efecto, consideramos en nuestro ejemplo que la constante ϵ es igual a 2, o sea el punto D en la línea que corresponde a constantes dieléctricas. Uniendo D con C por medio de una recta y prolongándola hacia la derecha, cortará a la línea de capacidades en un punto E que corresponde precisamente al valor calculado con la fórmula 30.

CONDENSADORES EN PARALELO

Cuando se conectan condensadores en paralelo, el valor de la capacidad es igual a la suma de las capacidades parciales conectadas. Esto se comprende fácilmente porque si cada condensador estuviese conectado a una misma fuente de f.e.m., según figura 95, veríamos que cada uno de ellos se carga de una manera independiente con respecto a los otros. Si la carga de estos condensadores se efectuara de acuerdo a la fig. 93 y por una vez, con respecto a los otros, se observará que al descargar un condensador la

ABACO N.º 8

Cálculo de condensadores



chispa producida es de menor magnitud que la obtenida con el conjunto conectado en paralelo según la figura 95. Podríamos, pues, escribir la siguiente fórmula general:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \dots \dots (31)$$

donde C es la capacidad resultante y $C_1, C_2, C_3,$ etc., son las capacidades parciales conectadas al circuito. Si por ejemplo, en el mismo circuito de la figura 95, C_1 fuese igual a $2 \mu f$, $C_2 = 4 \mu f$, y $C_3 = 0,5 \mu f$, la capacidad total sería, aplicando la fórmula 31:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 + 4 + 0,5 = 6,5 \mu f$$

CONDENSADORES EN SERIE

Cuando se conectan dos condensadores en serie, según puede verse en la figura 96, ocurre que en el momento de carga la corriente tiene que atravesar C_1 y C_2 , es decir, que cargará a ambos condensadores. La corriente que "provoca" C_1 y C_2 , como recordarán los lectores, es una corriente instantánea que depende de los valores de la capacidad de ambos condensadores. Como la carga de uno de ellos depende del otro, resulta que la corriente de carga queda dificultada en su camino durante su breve paso, se trataría

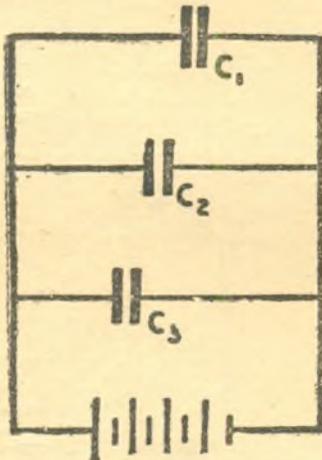


Fig. 95

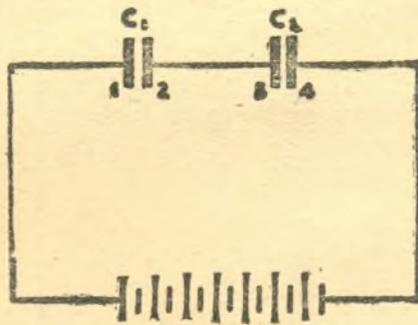


Fig. 96

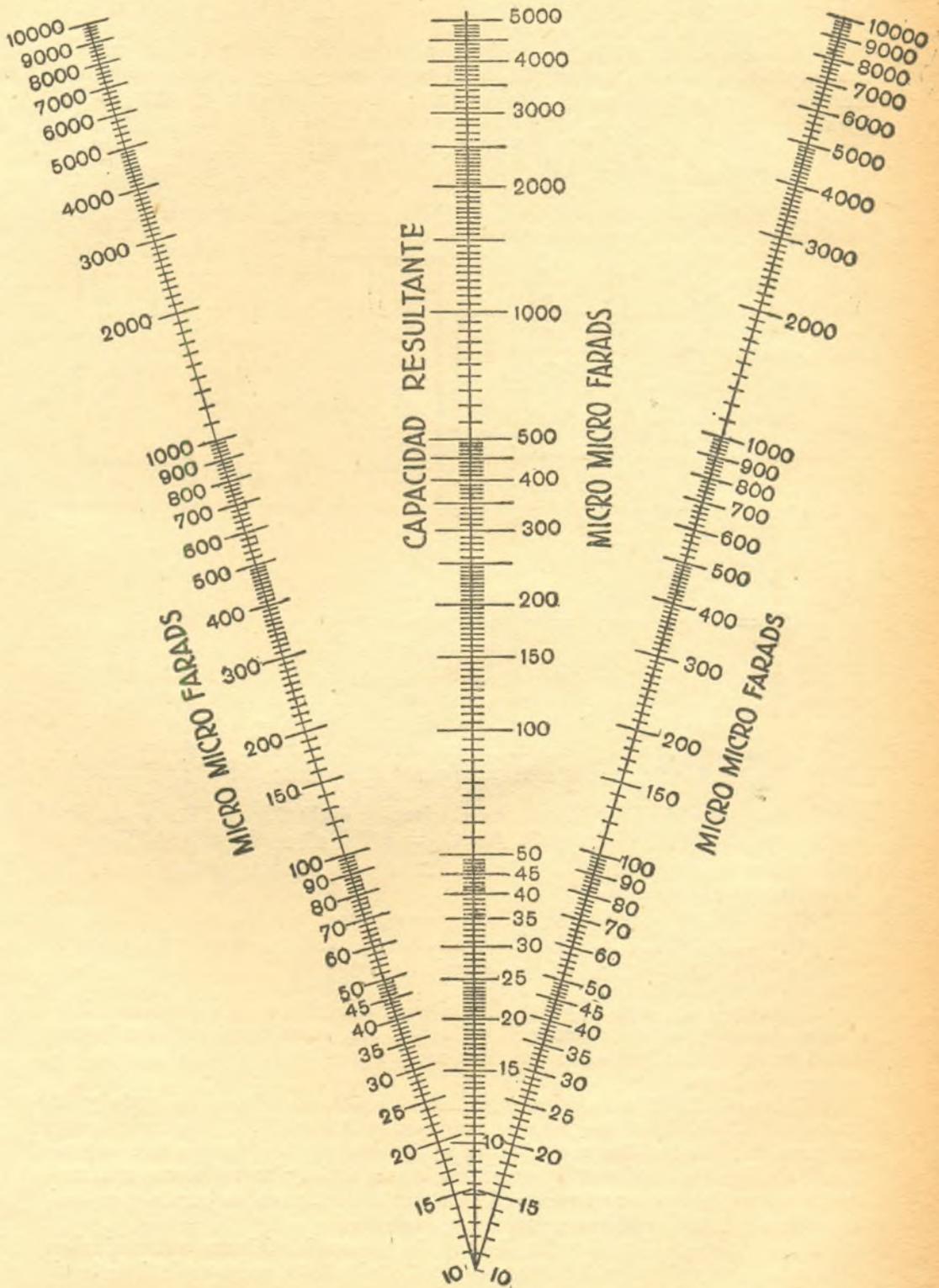
de un efecto equivalente al que resultaría aumentando el espesor del material dieléctrico. En efecto, supongamos que las placas N.º 2 y N.º 3 fuesen una misma, de manera que el dieléctrico del condensador C_1 se sumaría al del dieléctrico de C_2 , formando un espesor tal que sería la suma de ambos. ¿Qué significa esto? Por lo que vimos antes, el aumento del espesor del dieléctrico produce la disminución de la capacidad, por lo que podemos establecer en forma general que: conectar condensadores en serie es lo mismo que aumentar el espesor del dieléctrico. La fórmula general que sirve de base para el cálculo de condensadores en serie es semejante a la utilizada para el cálculo de resistencias en paralelo. De manera que, para el caso de la figura 96, donde tenemos dos condensadores conectados en serie, la fórmula para calcular el valor de la capacidad resultante es la siguiente:

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \dots \dots \dots (32)$$

Si suponemos que $C_1 = 2 \mu f$ y $C_2 = 8 \mu f$, sabremos de antemano que la capacidad resultante será inferior a $2 \mu f$, por las mismas razones

ABACO N.º 9

Cálculo de dos condensadores en serie



dadas cuando estudiamos resistencias en paralelo. En efecto, sustituyendo valores en la fórmula 32 tenemos:

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \times 8}{2 + 8} = \frac{16}{10} = 1,6 \mu f$$

Si en el circuito, en lugar de dos condensadores conectados en serie se tuvieran tres o más, se procedería de la misma manera que para el caso de tres o más resistencias conectadas en paralelo. Veamos, por ejemplo, la figura 97 A, donde se tienen cuatro condensadores, C_1 ; C_2 ; C_3 ; C_4 ; cuyos valores son, respectivamente, 0,1; 0,5; 0,05; y 0,003 μf .

Calculemos primero el valor equivalente de C_1 y C_2 y llamemos C' al

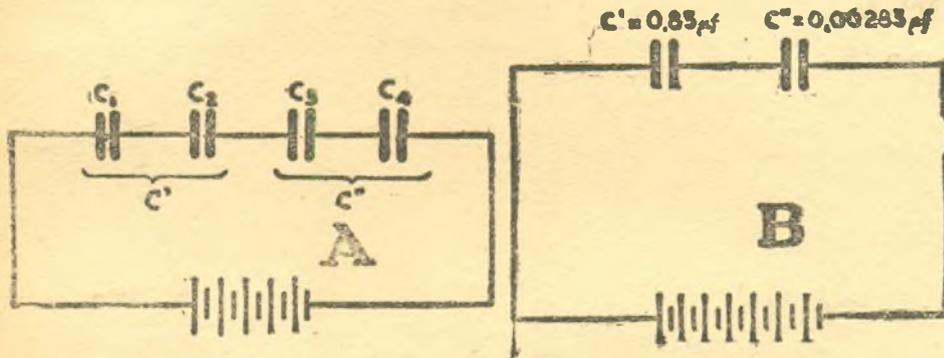


Fig. 97

resultado. Tendremos:

$$C' = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{0,1 \times 0,5}{0,1 + 0,5} = \frac{0,05}{0,6} = 0,083 \mu f$$

Calculemos ahora el equivalente de C_3 y C_4 y llamaremos C'' al resultado. Se tendrá:

$$C'' = \frac{C_3 \times C_4}{C_3 + C_4} = \frac{0,05 \times 0,003}{0,05 + 0,003} = \frac{0,00015}{0,053} = 0,00283 \mu f$$

Hemos reducido de esta manera el circuito de la figura 97 A a un circuito equivalente 97 B formado por $C' = 0,083 \mu f$ y $C'' = 0,00283 \mu f$.

Aplicando nuevamente la fórmula 32 a este circuito, obtendremos la capacidad total buscada:

$$C = \frac{C' \times C''}{C' + C''} = \frac{0,083 \times 0,00283}{0,083 + 0,00283} = 0,0000282 \mu f$$

El lector verá que, a pesar de haberse utilizado capacidades relativamente elevadas, al ser conectadas en serie, dan como resultado una capacidad tan pequeña que en la práctica sería imposible construir un condensador semejante.

El Abaco N.º 9 se utiliza para calcular condensadores en serie y se opera con él de la misma manera que con el Abaco N.º 2, de resistencias en paralelo. En las dos ramas en V se determinan los puntos que corresponden a los dos condensadores conectados en serie y uniendo con una recta dichos puntos, esta recta cortará a la escala central en un punto que dará el valor del condensador resultante equivalente.

Si se quiere hallar el valor de una de los condensadores conectados en serie conociendo el valor del otro y el total equivalente, se procederá de la si-

guiente manera: en una de las ramas en V se fija el valor del condensador conocido y en la recta vertical el valor resultante de los dos; se unen con una recta y el punto en que dicha recta corta otra rama de la V, dará el valor del condensador desconocido y que está conectado en serie con el conocido.

CALCULO DE CAPACIDAD ENTRE CONDUCTORES. — APLICACION PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD DE UNA ANTENA USADA EN RADIOTECNICA

Si tenemos dos conductores de la red de canalización, éstos formarán las armaduras de un condensador por el hecho de reunir las siguientes características: 1.º diferencia de potencial entre conductores (placas de superficie pequeña); 2.º por estar aisladas entre sí, existe dieléctrico formado por la aislación con que vienen revestidos los conductores y el aire que los rodea o simplemente el aire cuando estos conductores son de alambre desnudo. Si comparamos el condensador así formado con los estudiados en las lecciones anteriores podríamos llegar a las mismas conclusiones puesto que los fenómenos que se producen son exactamente los mismos (conductores a distinto potencial y dieléctrico de aire).

Existe una fórmula práctica muy simple que nos permite calcular la capacidad entre dos conductores.

Dicha fórmula es:

$$C = \frac{1,12 \times l}{\log^* \left(\frac{2 \times D}{d} \right)} \dots \dots \dots (33)$$

donde C es la capacidad entre dos conductores paralelos en μmf (millonésimos de microfarad.); l es la longitud que media entre los extremos de los conductores; D es la distancia que separa a los dos conductores y d es el diámetro de los alambres. Tanto D como d se miden en cm.

APLICACIONES PRACTICAS

La aplicación más importante de lo que acabamos de explicar acerca de los conductores la tenemos en el cálculo de la capacidad de antenas de recepción o transmisión de radio con respecto a la tierra. Sea un conductor aislado a sus extremos y en posición horizontal a una distancia determinada del suelo (fig. 98). Si suponemos que la tierra (suelo) es también un

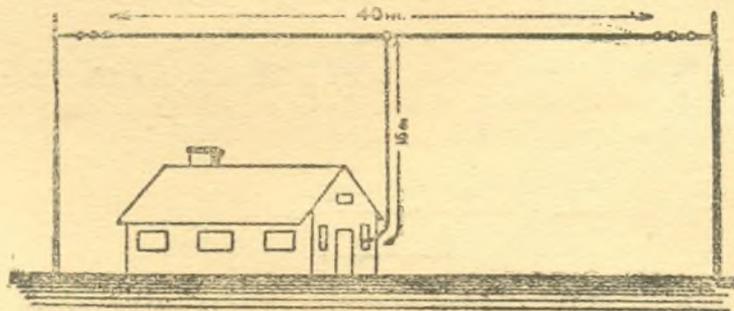


Fig. 98

conductor, tendríamos formado un condensador (entre el conductor y la tierra) cuyo dieléctrico es el aire que los separa. La f.e.m. estaría dada por la f.e.m. de autoinducción que generaría el campo magnético inductor (cuando el conductor actúa como antena de un receptor) o por la diferencia de potencial producida por la corriente del transmisor. Lo importante

(*) En el Curso de Matemáticas se ha explicado el manejo de las Tablas de Logaritmos y la forma de operar.

es recordar que en cualquiera de los casos la f.e.m. o diferencia de potencial existe.

El sabio que sugirió la idea del cálculo de la capacidad de conductores y especialmente de antenas utilizadas en radio, fué el físico Sir Oliver Lodge. Experimentalmente, Mr. Lodge obtuvo que el valor de la capacidad de una antena es igual a $1/16$ de la longitud de la parte horizontal de la antena sumándole de $1/20$ a $1/12$ de la longitud entre la parte horizontal de la antena y el aparato de radio (receptor o transmisor). Este valor de $1/20$ a $1/12$ depende de si la parte no horizontal de la antena, o sea la que conecta la antena con el aparato de radio, pasa cerca o lejos de las paredes. Si ésta es muy próxima, se sumará $1/12$ a $1/16$; si se aproxima solamente parte de la sección a la pared, se suma $1/15$ a $1/16$ y si toda esta sección de la antena está muy separada de la pared, se suma $1/20$ a $1/16$.

Esta explicación dará al lector una idea aproximada de cómo se efectuaron los primeros tanteos para obtener los valores de capacidad que corresponden a las antenas de transmisión y recepción radioeléctrica. Demos un ejemplo para aclarar esta idea que, aunque no la emplearemos en la práctica, nos servirá para verificar hasta qué extremo son exactos los valores obtenidos experimentalmente.

Considerando la antena de la figura 98, tenemos que su longitud (parte horizontal) es de 40 m.; entonces, según la explicación anterior, $1/16$ de 40 m. es igual a $\frac{40}{16} = 2,5$ m. La longitud entre la parte horizontal y el aparato de radio es de 15 m. y está bastante alejado de las paredes de la casa: por lo tanto, podemos tomar $1/20$ de 15, o sea $\frac{15}{20} = 0,75$ que sumado al valor que nos dió para la parte horizontal sería $2,5 + 0,75 = 3,25$. Esto lógicamente nos dará el resultado en m., o sea 3,25 m.

El centímetro fué empleado en los primeros tiempos como unidad de capacidad y cuyo equivalente con la unidad que empleamos nosotros es de 1 microfarad 900000 cm. Como en nuestro ejemplo tenemos 3,25 m. reducidos a cm., nos dará 325 cm. Como 900000 cm. es igual a $1 \mu f$, a 325 cms. le corresponden $\frac{325}{900.000}$ microfarad., o sean $0,000361 \mu F$, o bien $361 \mu \mu F$.

No insistiremos en esto, porque basta solamente una idea al respecto. La fórmula más usual para el cálculo de la capacidad de un alambre horizontal respecto a tierra es la siguiente:

$$C = \frac{3,28 \times l}{4,6 \times \log \left(\frac{4 \times h}{d} \right)} \dots \dots \dots (34)$$

donde: l es la longitud del alambre en metros; h es la altura respecto a tierra en cm.; y d es el diámetro del alambre usado y expresado también en cm.

Veamos un ejemplo: Supongamos una antena de 20 m. de longitud, instalada a 10 m. (1000 cm.) del suelo, siendo el diámetro del alambre empleado 0,5 cm. Para calcular la capacidad se aplica la fórmula (34).

$$C = \frac{3,28 \times l}{4,6 \times \log \left(\frac{4 \times h}{d} \right)} = \frac{3,28 \times 20}{4,6 \times \log \left(\frac{4 \times 1000}{0,5} \right)} = \frac{65,6}{4,6 \times \log 8000} =$$

Como $\log. 8000 = 3,90309$ (Ver tabla de log., pág. 99 de "CURSOS", N.º 3).
 queda:

$$C = \frac{65,6}{4,6 \times 3,90309} = 3,65 \text{ m., o sea } 365 \text{ cm.}$$

Dijimos que $1 \mu\text{f}$ era igual a 900.000 cm. Entonces 365 cm. serán
 igual a: $\frac{365}{900.000} = 0,000406 \mu\text{f.}$

27a. LECCION

Condensadores en circuitos de corriente alternada

En las figuras 81 y 82 de la Lección 24a. vimos que cuando un condensador se cargaba (figura 81) se lo podía descargar (figura 82) retirando la batería cerrando el circuito. Además, vimos que cuando se producía la descarga de corriente instantánea que atravesaba el galvanómetro lo hacía en sentido contrario al de la corriente que ha cargado el condensador. Si en la figura 81 invertimos las conexiones de la batería, es decir, conectamos al condensador de tal manera que donde antes era positivo ahora es negativo y viceversa, observamos que en el momento de carga la dirección de la corriente instantánea tendrá sentido inverso a la anterior. Lo mismo sucederá con la corriente instantánea de descarga, puesto que se producirá también en sentido contrario al caso anterior.

Vemos entonces que podemos invertir la dirección de la corriente de carga y descarga con sólo invertir la polaridad de la batería. Observemos la fig. 99, donde se ve que hemos conectado el circuito a una fuente de f.e.m. de corriente alternada.

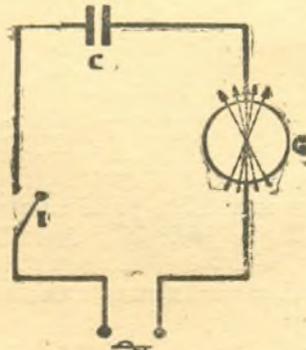


Fig. 99

En cuanto cerremos el circuito, por medio del interruptor I, veremos que la aguja del galvanómetro comenzará a oscilar sobre su eje muy rápidamente coincidiendo dichas vibraciones con los cambios de las direcciones de la intensidad de la corriente alternada.

Como todos sabemos, la corriente cambia de dirección tantas veces en la unidad de tiempo (segundo) como alternativas (ciclos) completos por segundo (frecuencia) tiene la intensidad de la corriente cuya f.e.m. se ha

aplicado al circuito. Por lo tanto, el lector imaginará que si la aguja del galvanómetro vibra constantemente por efecto de la corriente alternada, da la impresión de que puede desarrollarse una energía eléctrica en el circuito aún estando interrumpido éste por el dieléctrico del condensador.

EXPERIMENTO

En el circuito de la figura 100 tenemos tres condensadores de dieléctrico de papel de 1, 2 y 4 μF respectivamente; una llave de topes de 5 posiciones, una lámpara común de luz eléctrica de 16 watts con su receptácu-

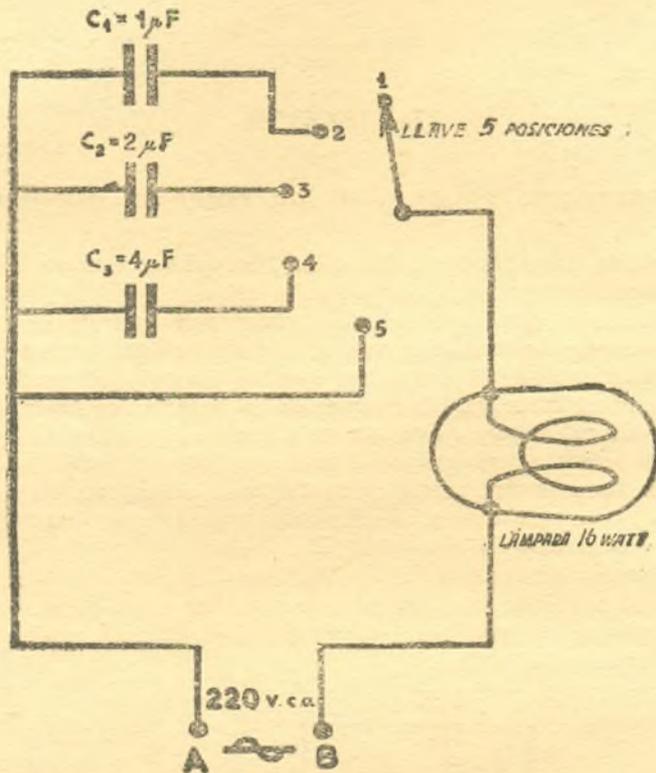


Fig. 100

lo; una ficha para enchufar los extremos A y B a la red de canalización de 220 Volts corriente alternada y una tabla para montar todos los elementos del circuito de la experiencia. En la posición 1 de la llave no notaremos nada en la lámpara, pues el circuito queda interrumpido. Luego se coloca la llave en la posición 2 e inmediatamente notaremos que la lámpara se enciende, tomando su filamento un color rojizo. ¿Qué piensan de esto los lectores? ¿Cómo es posible que pueda encenderse una lámpara a través del dieléctrico de un condensador teniendo en cuenta que el dieléctrico del mismo es un aislador casi perfecto? Veamos qué es lo que sucede. Recordemos que en corriente alternada la f.e.m. varía de cero a un máximo positivo, de un máximo positivo a cero, etc. Pues bien; en cuanto el condensador adquiere cierto potencial eléctrico, empieza a cargarse hasta un valor máximo que corresponde al valor máximo que alcanza el voltaje de la fuente de f.e.m.; a partir de este punto, el valor del voltaje decrece hasta llegar a cero. Como el condensador se halla cargado cuando el voltaje de la f.e.m. tiende a disminuir, resulta que la diferencia de potencial que adquirió el condensador es mayor que el de la f.e.m. puesto que ésta, después de llegar a un

valor máximo, disminuye hasta cero. Resultando que si el potencial del condensador es mayor que el del circuito, entonces el condensador se descargará, dando origen a una corriente en sentido contrario al de la carga y que atravesará al filamento de la lámpara. Así llegamos a un momento en que la f.e.m. de la fuente eléctrica, llega a cero. Y a partir de este punto, se invierte la polaridad de la f.e.m. produciéndose una corriente que cargará al condensador en el sentido contrario al anterior hasta un valor máximo cuando la f.e.m. llega al valor máximo negativo a partir del cual irá disminuyendo hasta llegar al valor cero. En este momento el condensador que se había cargado se descargará en el circuito dando origen a una corriente en sentido contrario al de la carga.

El lector habrá notado que el condensador entrega energía al circuito tanto para el semiciclo positivo como para el negativo, energía obtenida de la f.e.m. de c.a. Como esta carga y descarga para la corriente industrial se repite 50 veces por segundo, resulta que la rapidez con que la corriente atraviesa en ambos sentidos el filamento de la lámpara lo mantiene encendido dependiendo la intensidad luminica de las características del condensador, como veremos en seguida. Si la llave de circuito la ponemos ahora en la posición 3, conectaremos en serie con el circuito un condensador de 2 μf , o sea el doble del que estuvo conectado en la posición 2. Notaremos que en el mismo instante de poner en contacto el condensador C_2 el filamento de la lámpara se enciende con un color más vivo que cuando estuvo conectado con C_1 . Esto se explica fácilmente si repetimos el fenómeno de carga y descarga explicado para el caso anterior. Veremos que por ser C_2 un condensador cuya capacidad es mayor que la de C_1 , la carga que admite este condensador será mayor también, de manera que entregará durante la descarga una energía mayor al circuito que se traduce en una intensidad de corriente mayor, dando origen a que la lámpara conectada en el circuito se encienda con más intensidad. ¿Qué conclusión sacamos de lo explicado? pues que por el circuito circula constantemente corriente en un sentido y en otro; primero, originado por la carga, y luego por la descarga del mismo, es decir, que cuando se cargó el condensador pasó una corriente instantánea a través de la lámpara y cuando el condensador se descargó, la corriente de descarga atravesó el filamento de la lámpara, pero en sentido contrario al caso anterior.

Si ahora conectamos la llave en la posición 4, el filamento de la lámpara se encenderá con más luminosidad que en la posición 3. Claro está que esto es debido a que en la posición 4 tenemos colocado un condensador de 4 μf que tiene una capacidad doble respecto a C_2 . Por lo tanto, la corriente de carga tiene una capacidad mayor y por lo tanto la intensidad de la corriente originada por la descarga será también mayor que cuando el circuito tenía conectado el condensador C_2 .

Si conectamos la llave en la posición 5, la luminosidad de la lámpara será máxima por no existir ningún obstáculo al pasaje de la intensidad de la corriente.

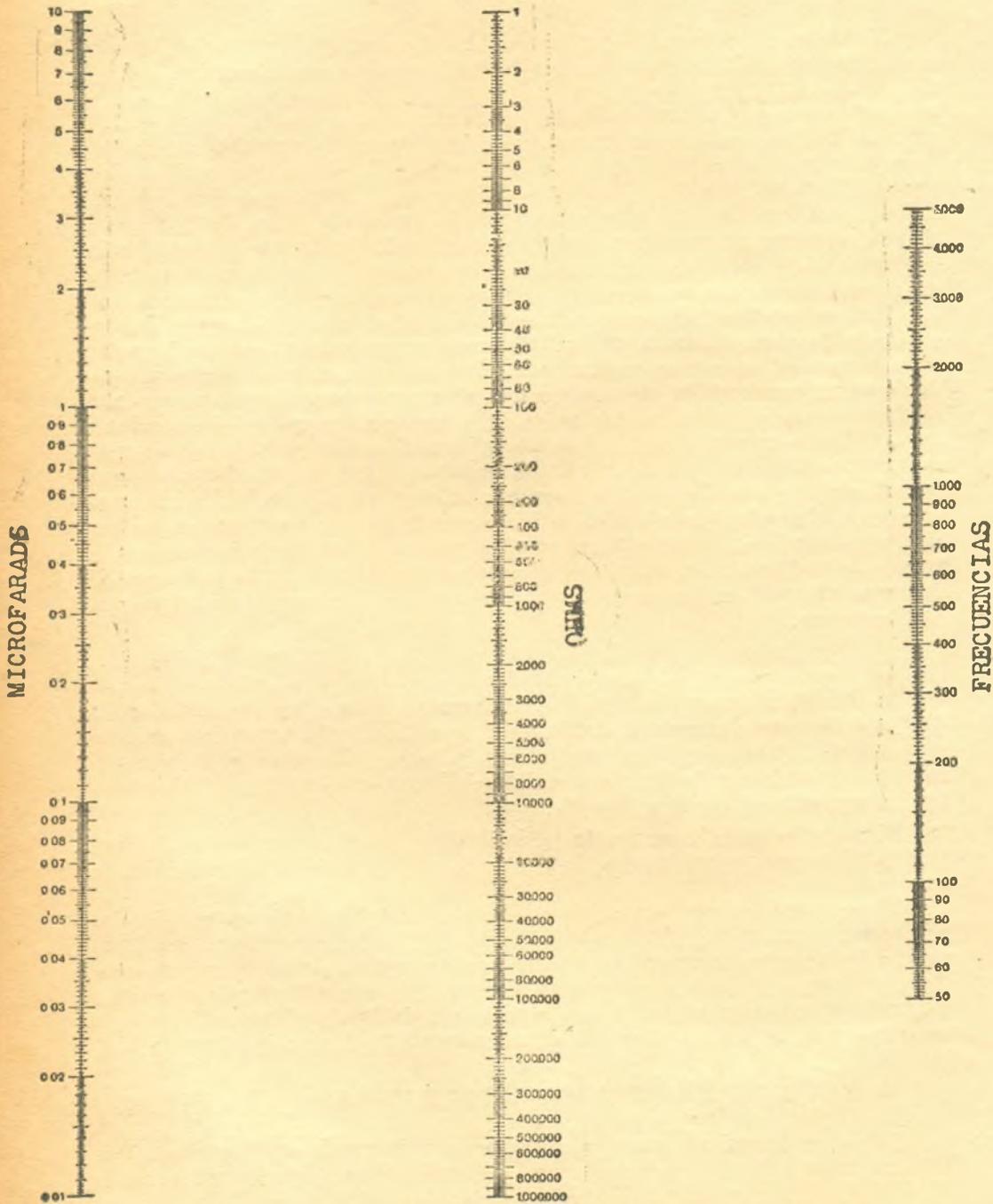
Vimos también que, a medida que se conectaba en serie en un circuito un condensador de mayor capacidad, la intensidad de la corriente que atravesaba la lámpara aumentaba; esto quiere decir que, si conectamos un condensador de capacidad muy grande, éste no "ofrecerá" ningún obstáculo a que la lámpara se encienda con el máximo de luminosidad de la misma manera que si estuviese conectada directamente a la fuente de alimentación.

REACTANCIA CAPACITATIVA

Como se recordará, cuando estudiamos inductancias vimos que si se aumentaba la inductancia del circuito la intensidad de la corriente alternada disminuía, debido al aumento de la reactancia inductiva. Si comparamos

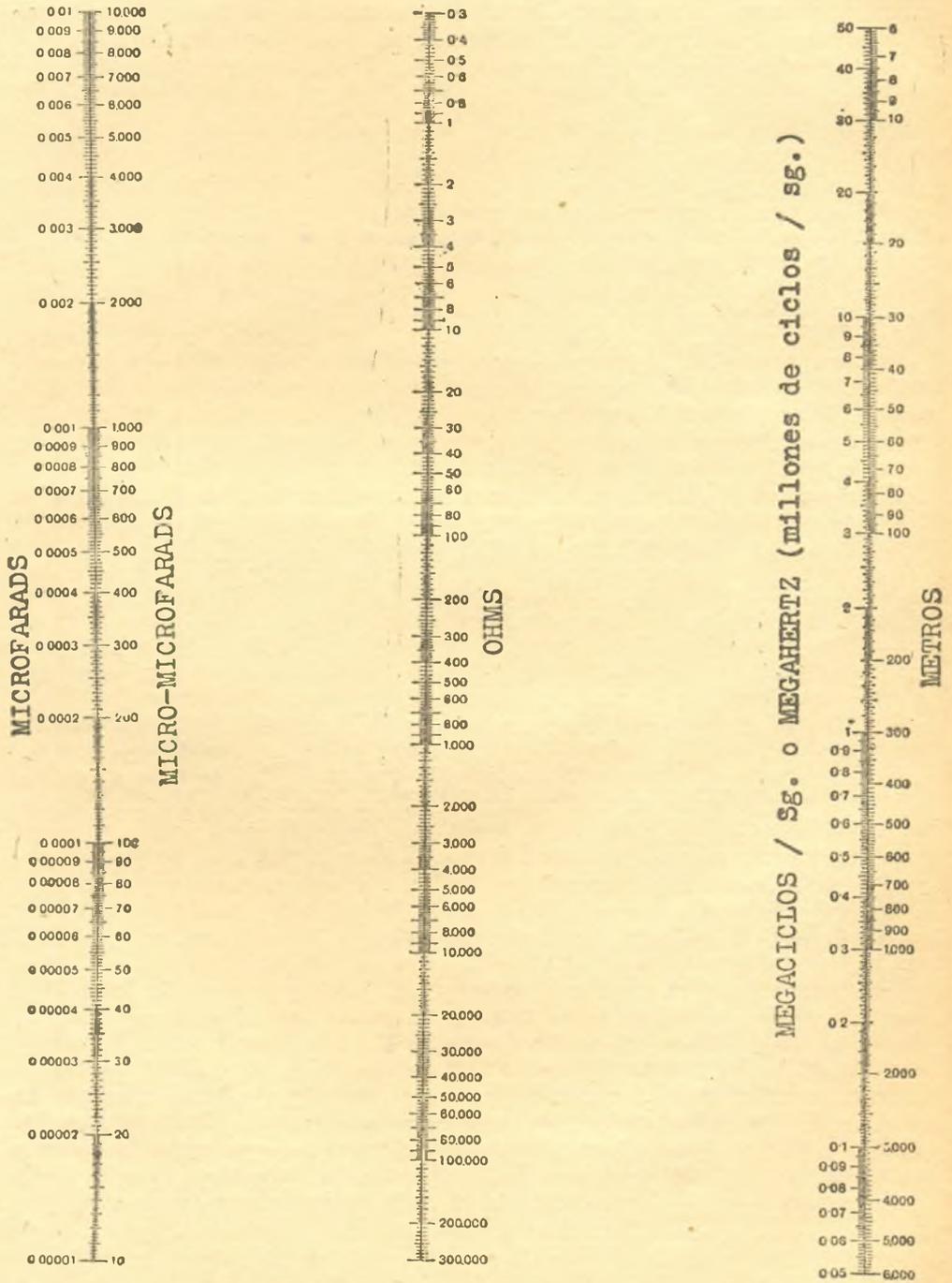
ABACO N.º 10

Cálculo de la reactancia de condensadores para
baja frecuencia



ABACO N.º 11

Cálculo de la reactancia de condensadores para
alta frecuencia



este fenómeno con respecto al de la capacidad, vemos que éste se comporta de una manera muy contraria a la inductancia para el paso de la corriente alternada. Por lo tanto, podemos decir: existe también una reactancia propia del condensador, pero de un efecto contrario al de la inductancia. Si llamamos a la reactancia del condensador **Reactancia Capacitativa**, podemos establecer una fórmula que nos permita calcular dichas reactancias en los circuitos donde se tienen conectados condensadores. Hemos visto que la intensidad de la corriente aumentaba cuando se elevaba el valor de la capacidad, lo que significa que si en tales condiciones la intensidad de la corriente aumenta, la reactancia del circuito disminuye, es decir, que a medida que aumenta la capacidad disminuye la reactancia capacitativa (X_c).

Como es preciso también tener en cuenta la frecuencia, puesto que estamos tratando circuitos de corriente alternada veamos qué influencia tiene ésta.

Recordemos lo que se dijo cuando estudiamos cargas eléctricas donde definimos el Coulomb y establecimos la siguiente relación $Q = I \times t$ (*) donde Q era la carga eléctrica en Coulombs; I la intensidad de la corriente y t el tiempo. De esta fórmula se desprende que el factor Q depende de los valores de I y de t . Así, por ejemplo, si $I = 1$ amp. y $t = 5$ seg., Q será igual a $1 \times 5 = 5$ Coulombs. Esto nos dice que si esa carga eléctrica se hubiese entregado a un condensador se diría que éste se ha cargado en un segundo, permitiendo el pasaje de una corriente de 5 amp.

A continuación demostraremos que es posible cargar este mismo condensador en la mitad de tiempo, a condición de buscar un valor adecuado para la intensidad de la corriente. Como el valor de carga es de 5 Coulombs y queremos reducir el tiempo de carga a medio seg., resultará que para mantener el mismo valor de carga habría que duplicar el valor de la intensidad de corriente. En efecto, si $Q = I \times t$, tendremos $Q = 10 \times 0,5 = 5$ Coulombs; es decir, que podrá cargar en un tiempo menor si se aumenta la intensidad de la corriente de carga.

Si aplicamos estos inconvenientes al caso de corriente alternada, en que la duración de la carga y descarga depende de la frecuencia de la corriente, resultará que para una frecuencia de 50 ciclos por segundo el condensador se cargará y descargará tantas veces por segundo como cambios se produzcan en la dirección de la corriente del circuito. Recordemos, por último, que cuando hablamos del fenómeno de carga de un condensador dijimos que esta carga se hacía instantáneamente no admitiendo más carga. Pero la explicación que dimos fué en base a una corriente continua en la cual el valor de la f.e.m. es constante. En nuestro caso, el valor de la f.e.m. no es constante, sino que varía, como ya sabemos, de acuerdo a una ley determinada. Es decir, como la fuerza electromotriz varía desde cero a un máximo y el condensador comenzará a cargarse hasta completar su carga cuando el valor de la f.e.m. ha llegado también a su máximo. De manera que si el valor máximo de la f.e.m. se produjese en un tiempo menor que el establecido para la corriente industrial, y como las características del circuito (condensador) son las mismas, la intensidad de la corriente tendrá que aumentar para que se cumplan las condiciones de carga del condensador expresadas en la fórmula $Q = I \times t$. En consecuencia, si la frecuencia de la corriente aumenta la intensidad de la corriente, también aumentará, es decir, que se comporta a la inversa que en el caso de las inductancias. Se ve claramente que los factores que intervienen en el valor de la reactancia capacitativa se comportan justamente en forma inversa que en el caso de las reactancias inductivas. Por lo tanto podemos expresar algebraicamente la fórmula de la reactancia capacitativa.

(*) Lección 15a.

Si llamamos a esta reactancia X_c , tendremos:

$$X_c = \frac{1 \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times C} \dots \dots \dots (35)$$

donde X_c es la reactancia capacitativa y se mide en ohms; f es la frecuencia en hertz y C la capacidad del condensador en μf .

Apliquemos esta fórmula al ejemplo de la figura 100. Calculemos la reactancia capacitativa del condensador de la posición 2, o sea de una capacidad igual a $1 \mu f$. Recordemos que la frecuencia era de 50 hertz. Entonces, aplicando la fórmula (35) se tendrá:

$$X_c = \frac{1 \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times C} = \frac{1.000.000}{2 \times 3,14 \times 50 \times 1} = \frac{1.000.000}{314} = 3184 \Omega$$

Calculemos ahora la reactancia capacitativa del condensador de la posición 3, cuyo valor es de $2 \mu f$.

$$X_c = \frac{1 \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times C} = \frac{1 \times 10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times 2} = 1592 \Omega$$

El condensador de la posición 4 de $4 \mu f$ tendrá una reactancia capacitativa de 796Ω .

El lector verifica así matemáticamente lo que se comprobó experimentalmente, puesto que cuando la llave (fig. 100) estuvo en posición 2, el filamento de la lámpara tomaba un color rojizo debido a que se tenía conectada en serie una reactancia de 3184Ω . En la posición 3, el condensador ofrecía una reactancia menor, o sea de 1592Ω , por cuya razón el filamento de la lámpara emitía una luz más brillante. Finalmente, en la posición 4 el condensador conectado ofrecía una reactancia de 796Ω , lo cual permitía un pasaje de corriente mucho mayor por el circuito y que se manifestaba por una luz más intensa que en los casos anteriores.

Con estos ejemplos queda demostrada la técnica del condensador en corriente alternada.

IMPEDANCIA EN UN CIRCUITO QUE SOLAMENTE TIENE CAPACIDAD

Cuando estudiamos inductancias vimos que el efecto de la resistencia óhmica existía en todos los casos debido a las características propias de los alambres (por no existir ningún material de resistencia óhmica cero). Pero tratándose de condensadores, el factor de resistencia óhmica (*) no interviene en absoluto puesto que — como se dijo — la intensidad de la corriente no atraviesa el condensador, sino que dicha intensidad era producida por la carga y descarga del mismo. En consecuencia, solamente podríamos hablar de impedancia en circuitos donde actúan condensadores cuando éstos están conectados en serie con una resistencia no inductiva.

La expresión que se emplea en tales casos sería:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{10^6}{2 \times \pi \times f \times C}\right)^2} \dots \dots (36)$$

De manera que si tuviésemos un condensador de $1 \mu f$ conectado en se-

(*) Si el dieléctrico empleado es de mala calidad, es decir, de una resistencia óhmica muy baja, solamente influirá esto en la carga del condensador, pues en este caso pasaría corriente a través del mismo y, por lo tanto, se comportaría casi como tal.

rie con una resistencia de 1000 Ohms (fig. 101), la impedancia del circuito sería:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} \dots\dots\dots (36)$$

Como ya habíamos calculado que un condensador de 1 μf a una frecuencia de 50 ciclos por segundo tiene una reactancia $X = 3184$ Ohms. Por lo tanto:

$$Z = \sqrt{1000^2 + 3184^2} = \sqrt{1.000.000 + 10.137.856} = 3337 \Omega$$

Como se ve, en este caso el tipo de operación es el mismo que en el caso de reactancia inductiva.

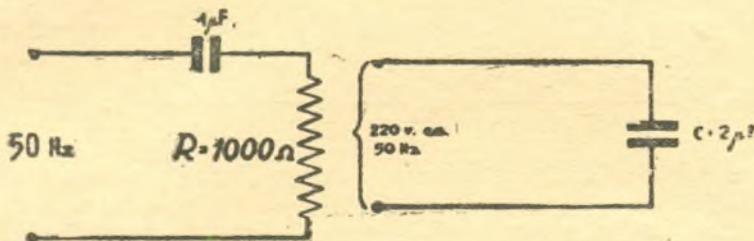


Fig. 101

Fig. 102

En los ábacos N.º 10 y 11 podemos calcular los valores de reactancias capacitivas para bajas y altas frecuencias respectivamente.

CALCULO DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE EN CIRCUITOS CON CAPACIDAD SOLAMENTE

Sea el circuito de la figura 102, donde tenemos conectado a la red de 220 Volts de corriente alternada un condensador de 2 μf y en el cual nos interesa conocer la intensidad de la corriente que circula por el circuito. Aplicando la Ley de Ohm, tenemos:

$$I = \frac{E}{X_c} = \frac{220}{1592} = 0,138 \text{ Amper}$$

Esto da una idea de lo simple que resulta calcular la intensidad de la corriente en un circuito capacitivo, puesto que dicho condensador de la figura 102 podría ser el valor equivalente de varios condensadores conectados en serie y en paralelo.

IMPEDANCIA DE CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNADA EN LOS CUALES INTERVIENEN INDUCTANCIAS, CAPACIDADES Y RESISTENCIAS OHMICAS. — CALCULO DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE EN ESTOS CIRCUITOS.

Estudiemos el caso general de los circuitos de corriente alternada. En todo circuito de corriente alternada existe siempre resistencia, inductancia y capacidad puesto que en la práctica la resistencia óhmica existe por razones ya conocidas; la inductancia también existe, puesto que cuando estudiamos autoinducción de los conductores demostramos que cualquier conductor posea inductancia. Lo mismo ocurre con la capacidad, pues basta que por un circuito circule corriente para que inmediatamente se produzca el fenómeno capacitivo (diferencia de potencial entre conductores).

Hasta ahora hemos hecho el estudio de todos estos fenómenos en el caso ideal, es decir, que las resistencias no fuesen inductivas, que las inductancias no tuviesen resistencia óhmica y que las capacidades estuviesen exentas de inductancias. En la práctica no sucede tal cosa, puesto que la resistencia óhmica no se puede eliminar totalmente, aunque su valor cuando es muy bajo sea despreciable (circuito de baja frecuencia) mientras las inductancias, cuando se trata de conductores cortos, también pueden despreciarse en circuitos de baja frecuencia, pero no es posible tal cosa en circuitos de alta frecuencia, y sobre todo en las ultra frecuencias, muy empleadas actualmente. Lo mismo podemos decir de la capacidad, pues este fenómeno se manifiesta en cualquier caso donde haya diferencia de potencial por pequeños que sean estos potenciales, al extremo que en inductancias de pocas vueltas se produce el fenómeno de capacidad entre espiras y que desempeña un rol importantísimo en el rendimiento y tanto más delicado cuando mayor sea la frecuencia de la corriente que las atraviesa.

En la figura 103 vemos un circuito que contiene los tres factores R, L y C. La fórmula que nos permite calcular impedancia total (Z_t) del circuito es:

$$Z_t = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots (37)$$

Esta fórmula es muy simple, por lo cual el lector no tendrá ninguna dificultad en aplicarla. Observarán, además, que los factores X_L y X_C de la fórmula se restan, lo que significa que sus elementos se contrarrestan: Vimos

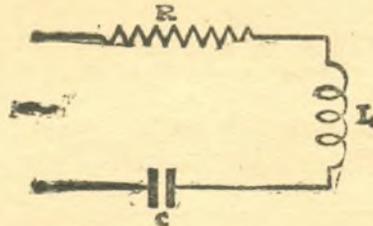


Fig. 103

que los fenómenos originados por la inductancia eran de efecto contrario; por lo tanto, en base a estos conocimientos estudiaremos oportunamente este detalle con toda amplitud. Veamos cómo se opera con la fórmula (37). Supongamos que en el circuito de la figura 103: $R = 100$ Ohms; la reactancia inductiva de la inductancia L a una frecuencia dada es de 4000 Ohms y la reactancia del condensador C a esa frecuencia es de 500 Ohms. ¿Cuál será la impedancia total Z_t del circuito? Sustituyendo, queda:

$$Z_t = \sqrt{100^2 + (4000 - 500)^2} = \sqrt{10.000 + 12.250.000} = 3490 \Omega$$

luego $Z_t = 3490 \Omega$ aproximadamente.

Si tuviésemos que calcular la intensidad de la corriente que está en juego en el circuito de este mismo ejemplo como la f.e.m. aplicada, es $E = 220$ Volt bastará aplicar la fórmula de la Ley de Ohm, o sea

$$I = \frac{E}{Z_t} = \frac{220}{3490} = 0,063 \text{ Amp. aproximadamente.}$$

Como se ve, esos cálculos son sumamente sencillos.

Recepción. - Distintos diseños de receptores a galena

En la figura 104 se presenta un diseño simplificado de un receptor de galena que es de gran utilidad para el principiante y consta de una inductancia L de unos 250 μh , un condensador variable C de una capacidad de

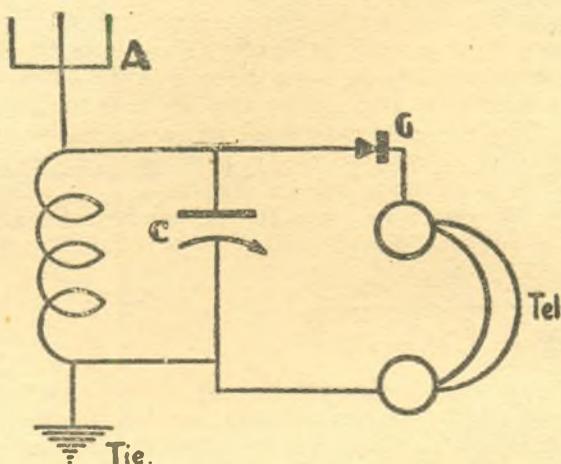


Fig. 104

0,00035 μf , una galena G con su respectivo soporte y "bigote de gato", un teléfono $Tel.$ del tipo empleado en radio de unos 4000 Ohms, por ejemplo. Además, se necesita, para el buen funcionamiento del receptor, una buena antena (larga y bien aislada) y una buena toma de tierra (lo más corta posible).

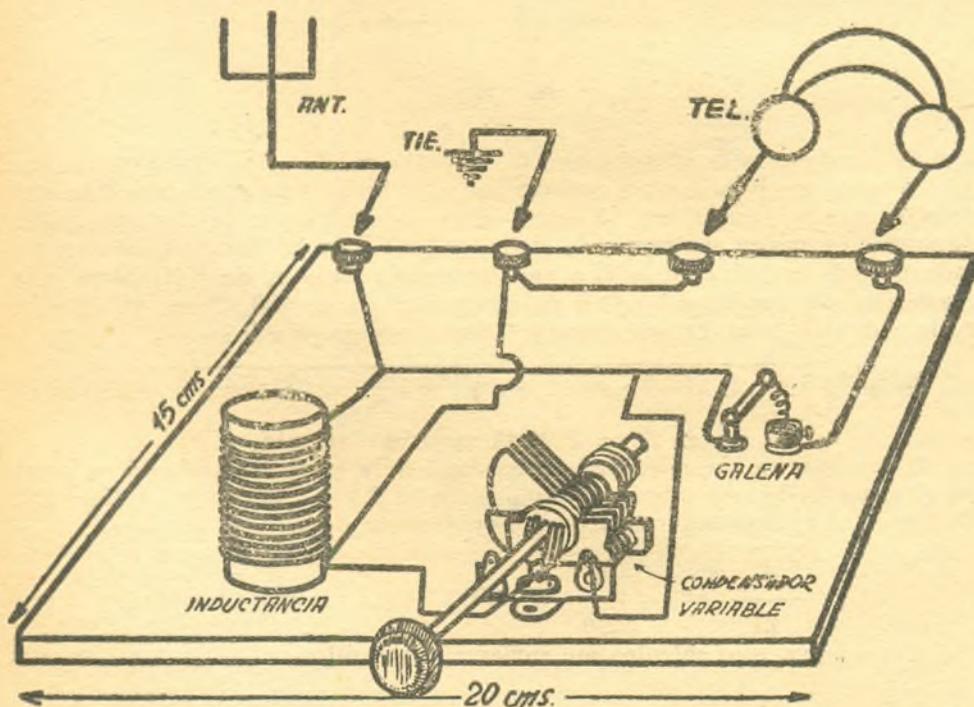


Fig. 105

Todos los elementos que componen el receptor propiamente dicho podrán ir montados sobre una tabla cuyas dimensiones se dan en la figura 105 y donde además se indican las conexiones entre los elementos y las bornas para la antena, tierra y teléfonos respectivamente.

Conviene calcular previamente la inductancia que se emplea en este circuito y darle las dimensiones que cada cual creyera más conveniente y, si fuese posible, construir dos o tres del mismo valor, pero de distintas dimensiones, a fin de elegir entre ellas la más conveniente o sea la que mejor funcione.

El armado no requiere cuidados especiales. Bastará seguir el desarrollo de la figura 105. Se notará en su funcionamiento que la selectividad, es decir, la propiedad de "separar" una estación de otra, es deficiente. Por lo tanto, será conveniente buscar una disposición y dimensión especial para la inductancia L que será distinta para cada caso particular debido a que las antenas, las tomas de tierra y el lugar de recepción son distintos para cada caso.

El condensador variable nos permite sintonizar las estaciones que se encontrarán a distintas posiciones del mismo.

Aconsejamos al experimentador que deje constancia en un cuaderno de notas de todas las observaciones, cálculos y resultados obtenidos para cada experiencia realizada, pues dichas anotaciones son de un inapreciable valor para el caudal de sus conocimientos.

En la figura 106 presentamos otro modelo de receptor a galena, pero de diseño más avanzado que permite obtener mayor selectividad y quizás ma-

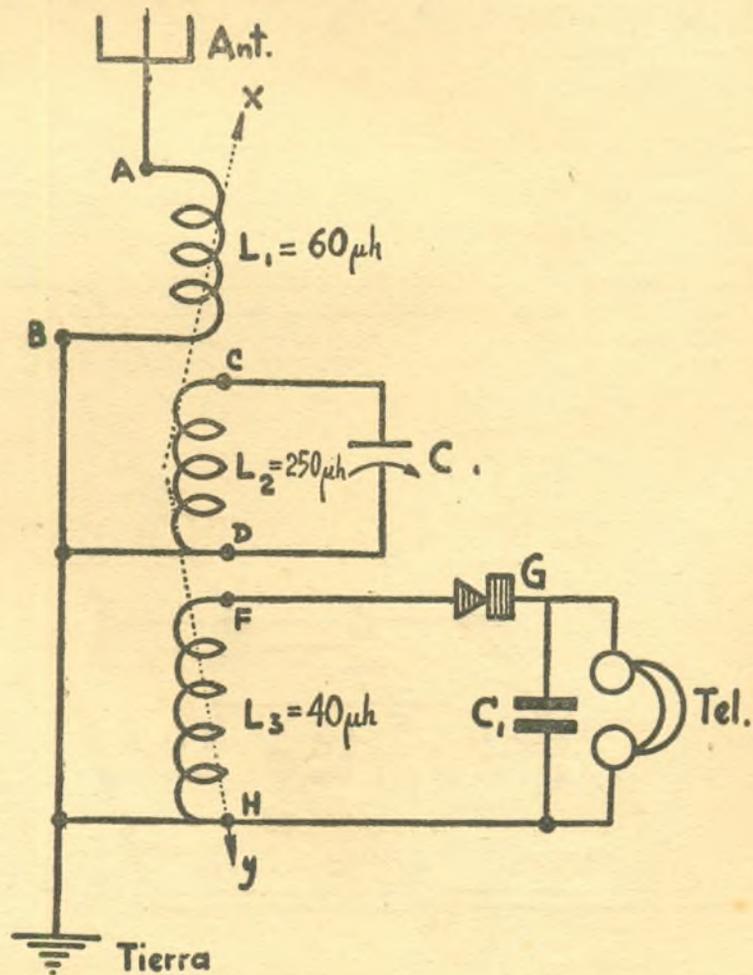


Fig. 106

por rendimiento en lo que a volumen se refiere. Dicho receptor tiene 3 bobinas L_1 , L_2 y L_3 , siendo fija la L_2 que podría estar bobinada sobre un tubo de unos 10 cm. de diámetro. La L_1 y L_3 se fijarán por su diámetro a dos ejes

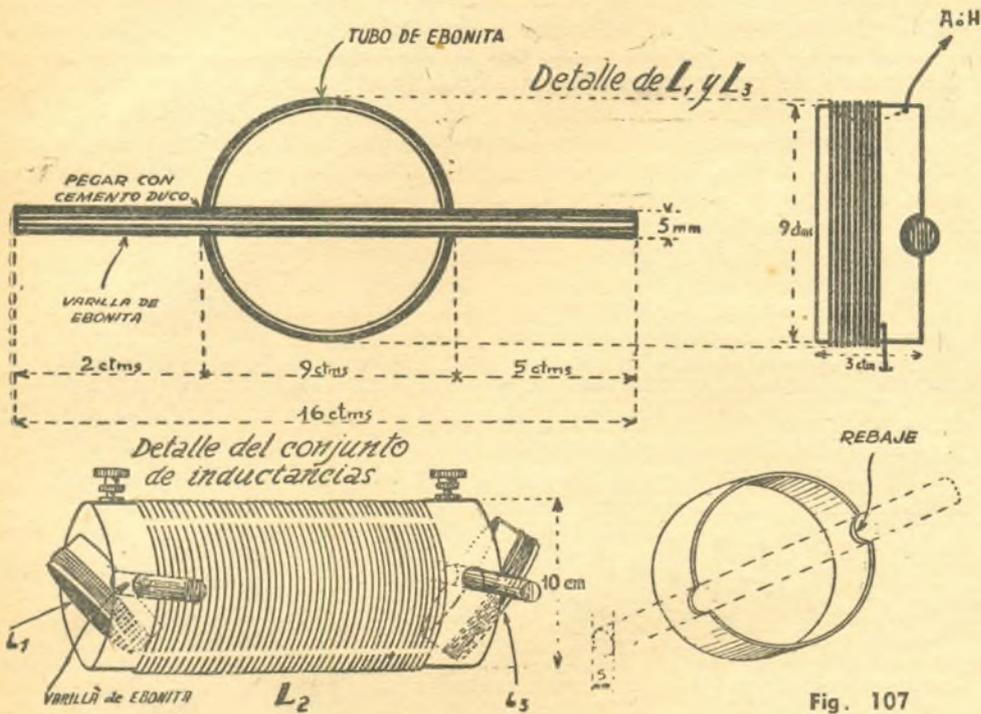


Fig. 107

distintos de material aislante (ebonita, bakelita, etc.) en la figura 107 se dan todos los detalles de la preparación de la inductancia. Estos dos bobinados van dispuestos a ambos lados de L_2 y sus diámetros deben ser inferiores al de L_2 de manera que cuando L_1 y L_3 tendrán que colocarse en posición ho-

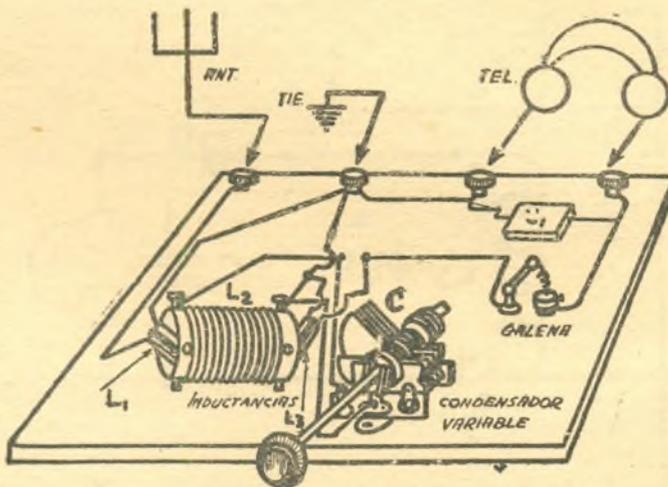
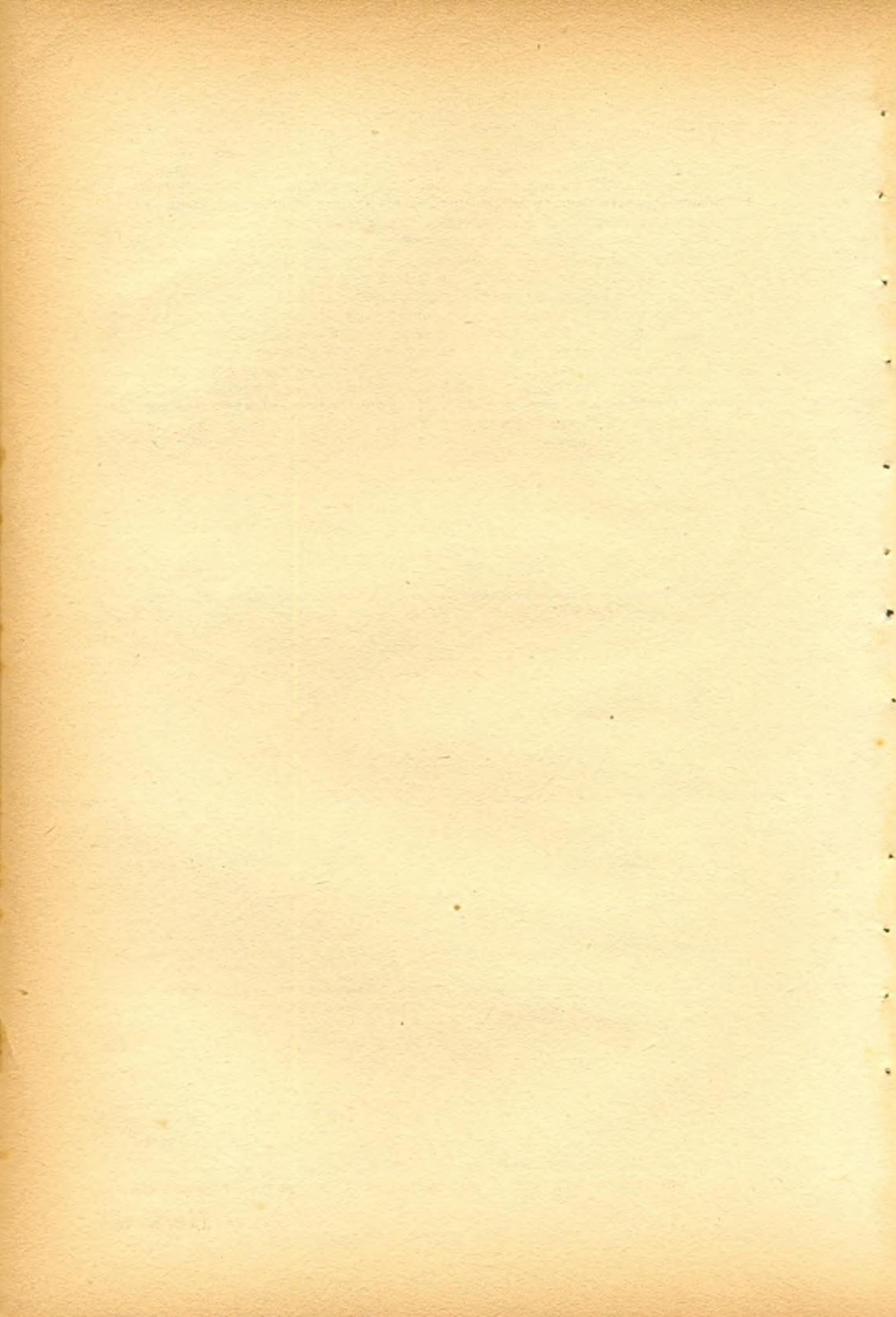


Fig. 108

rizontal por razones de sintonía, parte de ellas quedarán dentro del espacio de L_2 . Las inductancias de las bobinas serán de los siguientes valores:

El condensador C tendrá una capacidad de $0,00035 \mu f$, o sea unas 17 placas en total. La galena, como los teléfonos, la antena y la tierra pueden ser los mismos que para el receptor anterior y C, de $0,0005 \mu f$. La figura 198 indica cómo deben realizarse las conexiones y la disposición de los elementos y el detalle de los bobinados, sin que por esto sea necesario ajustarse estrictamente a la disposición de la figura 108. El manejo de este receptor es muy simple. Se trata de sintonizar una estación, por ejemplo, por la mitad del dial, o sea en la posición media del condensador variable, logrado esto se hace girar lentamente primero L_1 hasta obtener el máximo de volumen y selectividad y luego L_3 . Si la estación que se desea recibir está molestanda por alguna otra muy próxima, se gira L_1 de manera que la bobina quede casi horizontal. Entonces se reajusta L_3 y de esta manera queda el receptor en condiciones óptimas de recepción. Por lo dicho, se ve que la construcción y manejo de este receptor son muy sencillos. El alcance que puede lograrse con este aparato puede llegar hasta unos 100 km., siempre que la antena y la toma de tierra sean buenas.



29a. LECCION

Resonancia

El fenómeno de la resonancia es de una inmensa aplicación en la Radio-técnica, pues nos permite, conociendo sus leyes, calcular los circuitos sintonizados. Es decir, que gracias a dicho fenómeno, podemos fijar o ubicar una estación de Radio de frecuencia dada.

Veamos cómo se llega teóricamente a la resonancia y cómo se explica dicho fenómeno. Observemos la figura 109. Tenemos un circuito formado por una resistencia Ohmica "R" (no inductiva) que podría ser la resistencia en corriente continua de la inductancia "L" más la del circuito; una inductancia "L" y un condensador "C" todos conectados en serie. Si este circuito se lo conecta a una red de corriente alternada, se pondrá en juego una energía eléctrica que dependerá de los valores de R, L, y C. Recordemos entonces Fórmula (37) y que era la impedancia total de un circuito o sea:

$$Z_t = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z_t = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

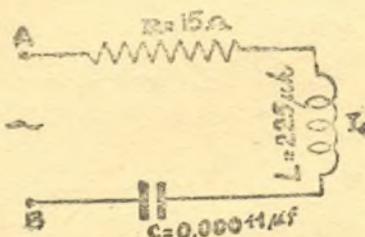


Fig. 109

pues bien; veamos entonces y repetimos que las dos reactancias, inductiva y capacitativa, son de efectos contrarios, de manera que podría en algún momento suceder que tanto X_L como X_C tengan valores iguales a una frecuencia determinada; en efecto, si esto sucediera, llegaríamos al fenómeno que queremos explicar. Supongamos que la reactancia inductiva de L sea de $X_L = 1413 \Omega$ que, de acuerdo al Abaco N.º 7, le corresponde una inductancia $L = 225 \mu h$, cuando la frecuencia $f = 1000 \text{ Kc/s}$, o sea 1 Megaciclo/seg. (1 Megahertz).

Ahora supongamos que C a esa misma frecuencia de $f = 1000 \text{ Kc/s}$, tenga una reactancia $X_C = 1413 \Omega$ o sea de acuerdo al Abaco N.º 11, le corresponde una capacidad $C = 0,000113 \mu f$ y R del circuito, una vez medido en corriente continua sea $R = 15 \Omega$, entonces, sustituyendo todos estos valores de $X_L = 1413 \Omega$; $X_C = 1413 \Omega$ y $R = 15 \Omega$, en la fórmula 37 tendremos:

$$Z_t = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{15^2 + (1413 - 1413)^2} = \sqrt{225 + 0}$$

o sea

$$Z_t = \sqrt{225} = 15 \Omega$$

Los lectores ven, por el resultado, que si los valores de reactancia in-

ductiva y reactancia capacitativa a una frecuencia dada, son iguales, éstos se anularán mutuamente puesto que sus efectos son de sentido contrario. De manera que en este caso la impedancia total Z_t , es igual a la resistencia Ohmica del circuito. En el ejemplo de la figura 109 el valor de $R = 15 \Omega$, y vimos que el resultado es $Z_t = 15 \Omega$. A este fenómeno se le llama RESONANCIA y se produce cada vez que a una frecuencia

determinada $X_L = X_C$ o sea que $2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C}$. En los casos de re-

sonancia en circuitos de corriente alternada, tenemos que tener muy en cuenta el factor resistencia óhmica R , puesto que, como hemos visto, es el único factor que se opondrá a que la corriente atraviese el circuito. Como en todos los circuitos resonantes empleados en la Radiotécnica, el "rendimiento" obtenido es mayor cuanto mayor sea la intensidad de la corriente, por lo tanto habrá que tratar de reducir en lo posible el factor R . Para ello se emplean en la inductancia secciones grandes.

CURVAS DE RESONANCIA

Antes de proseguir, veamos qué es una Curva de Resonancia. Tenemos la figura 110, que es en realidad el de la figura 109, con la diferencia que en el de la figura 110 conectamos entre los puntos A y B un generador de corrientes alternadas de alta frecuencia variable, de manera tal que podemos variar la frecuencia entre ciertos límites y manteniendo constante la f.e.m. generada. Además conectamos en serie con el circuito un amperímetro bastante sensible como para poder medir la intensidad de la corriente en cualquier momento. Veamos ahora el gráfico de la figura 111.

Tenemos dos ejes: uno horizontal con los valores de las frecuencias alrededor de 1000 Kc/seg., que es la que habíamos tomado en nuestro ejemplo como frecuencia de resonancia. En dicho eje, hemos fijado las frecuencias a una escala determinada de manera tal que tengamos 50 Kc/s. de cada lado de la frecuencia de resonancia, o sea 950 Kc/s. y 1050 Kc/s.

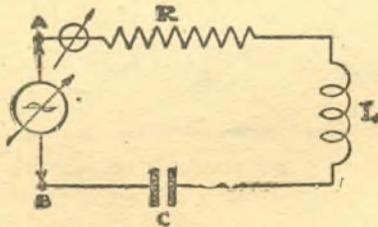


Fig. 110

En el eje vertical, hemos fijado los valores leídos en el amperímetro (en nuestro caso miliamperímetro) también a una escala determinada. Si hacemos variar el generador de manera que pase por la frecuencia de resonancia y observando el amperímetro, veremos que en un instante determinado, la deflexión de la aguja es máxima para un punto determinado de frecuencia del generador y que es precisamente la frecuencia de resonancia. Veamos cómo se traza la curva I de la figura 111.

Ponemos el generador en una frecuencia de 950 Kc/s, y veremos que el amperímetro nos da una lectura determinada; la intensidad de la corriente acusada por éste es muy pequeña debido a que la impedancia del circuito es elevada, y leemos en el amperímetro 0,5 miliamper (0,0005 Amp.). Ponemos el generador en 960 Kc/s. y leemos 0,75 miliamperes (M. A.); luego en 970 Kc/s. leemos 1,1 M. A. Vemos que a medida que nos aproximamos a la frecuencia de resonancia, la intensidad de la corriente aumenta. Ponemos el generador en 980 Kc/s. y leemos en el amperímetro 1,75 M. A.;

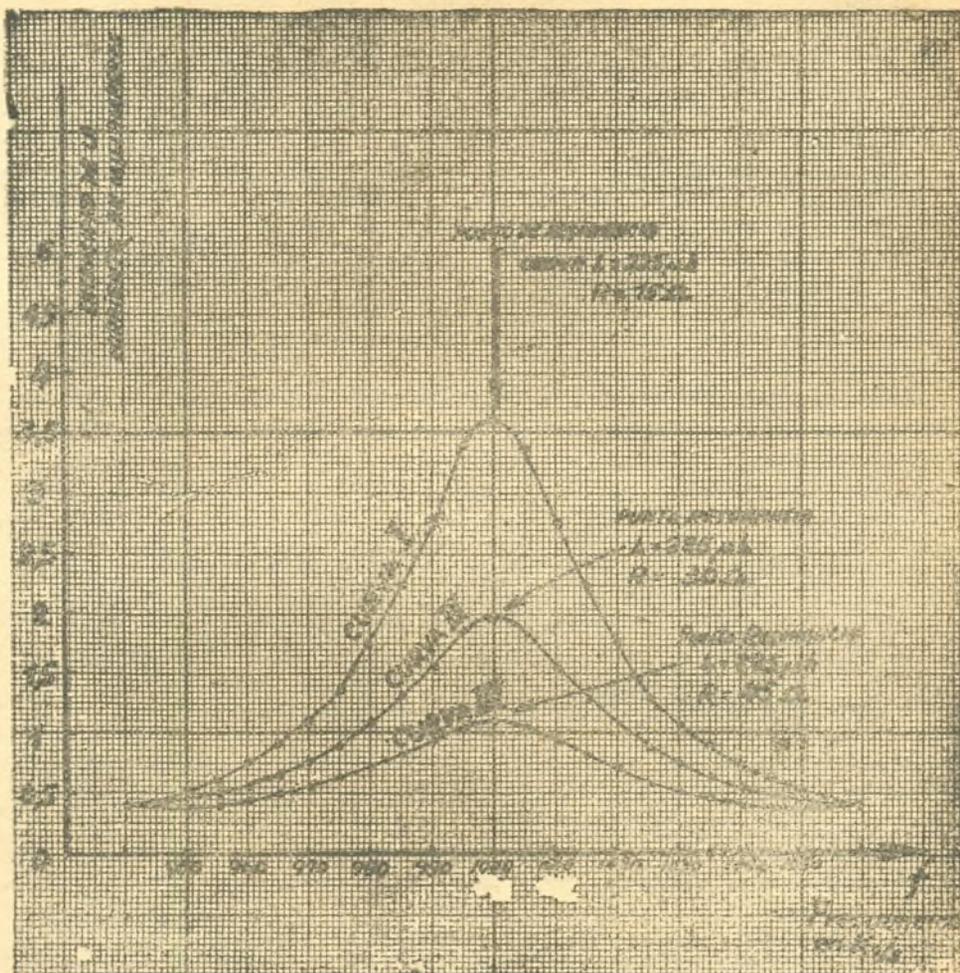


Fig. 111

en 916 Kc/s.; 2,75 M. A.; a 1000 Kc/s., 3,65 M. A.; 1010 Kc/s. volvemos a leer 2,75 M. A.; es decir, que la intensidad de la corriente decrece a partir de un cierto punto, que es el punto de resonancia y en la cual la intensidad de la corriente es máxima.

Si ponemos el generador en 1020 Kc/s., leemos 1,75 M. A. y así sucesivamente hasta llegar a un valor de 1050 Kc/s. de 0,5 M. A. y que a partir de la cual la intensidad de la corriente se mantiene muy pequeña sin llegar a cero. Quizás al lector le llamará la atención de que dicha curva no comience desde cero para la intensidad de la corriente, pero esto se debe a que, estando el circuito fuera de resonancia, siempre circulará corriente por el circuito sea cualquiera la frecuencia de la f.e.m. (generador) debido a que la impedancia Z_t del circuito nunca tendrá un valor infinitamente grande.

Recordemos que la curva I, fué trazada para $R = 15 \Omega$. Vemos entonces que podemos representar gráficamente la forma de la curva de resonancia de un circuito. Como veremos en seguida, ésta no es la misma para todos puesto que, aún siendo iguales los dos valores C y L , basta que R no sea igual para que la curva de resonancia sea distinta y distinto también el "rendimiento" del circuito. Si en el circuito de la figura 110 construimos una inductancia $L = 225 \mu h$, pero de alambre más fino, podríamos obtener una resistencia óhmica $R = 30 \Omega$ y repitiendo la experiencia hecha

con la inductancia de 15Ω obtendremos una curva de resonancia como se ve en la figura 111, Curva II, y si construyéramos otra inductancia $L = 225 \mu\text{h}$ pero de 45Ω , tendríamos la curva III.

Si comparamos las tres curvas, I, II, III, veremos que las "alturas" de resonancia son distintas para las tres curvas, siendo la que alcanza una variación máxima la curva I y a la que corresponde menor valor de R. En cambio la curva de resonancia III es de una variación muy pequeña apenas de 0,5 M. A. contra unos 3 M. A. de la curva I. Lógicamente el lector verá que la curva I corresponde a un circuito más eficiente, como veremos más tarde. Por lo pronto, conviene que el lector retenga lo mejor posible estos conocimientos por su enorme aplicación en la teoría y en la práctica.

CALCULOS DE CIRCUITOS RESONANTES

Los conocimientos adquiridos en el párrafo anterior nos sirven para poder calcular circuitos resonantes utilizados en la Radiotécnica. Como veremos en seguida.

Dijimos que en caso de resonancia $X_L = X_C$ o sea que $2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C}$ (38)

Si en la expresión de la fórmula 38 conocemos el valor de la frecuencia de resonancia y la inductancia, podemos calcular el valor de la capacidad por medio de la fórmula que se obtiene de la 38: donde C es la capacidad de resonancia en microfarad; f es la frecuencia de resonancia en Kilocertz y L es la inductancia del circuito en microhenrys. Con los ábacos 12, 13 y 14, se puede calcular el valor de C conociendo f y L de la fórmula 39.

Veamos un ejemplo:

$$C = \frac{159^2}{f^2 \times L} \dots\dots\dots (39)$$

Sea un circuito tal que se quiere obtener resonancia a 1500 Khz, siendo la inductancia $L = 300 \mu\text{h}$, aplicando la fórmula 39 tenemos:

$$C = \frac{159^2}{f^2 \times L} = \frac{159 \times 159}{1500 \times 1500 \times 300} = \frac{25281}{2250000 \times 300} = \frac{25281}{675000000} = 0,0000375 \mu\text{f}$$

Esto quiere decir que si un circuito tiene que resonar en 1500 Kilocertz cuando la inductancia es $300 \mu\text{h}$, la capacidad deberá ser de $0,0000375 \mu\text{f}$.

Este ejemplo tendría aplicación para el caso de un receptor que tuviese que sintonizar una estación cuya frecuencia de emisión sea de 1500 Khz.

Si se emplea el Abaco N.º 13 se podrá calcular inmediatamente el valor obtenido con la fórmula 39.

Puede presentarse el caso de que el valor de la capacidad y de la frecuencia de la resonancia sean conocidos y haya que calcular el valor de la inductancia que deberá tener el circuito para que exista resonancia a la frecuencia deseada, la fórmula empleada en estos casos es:

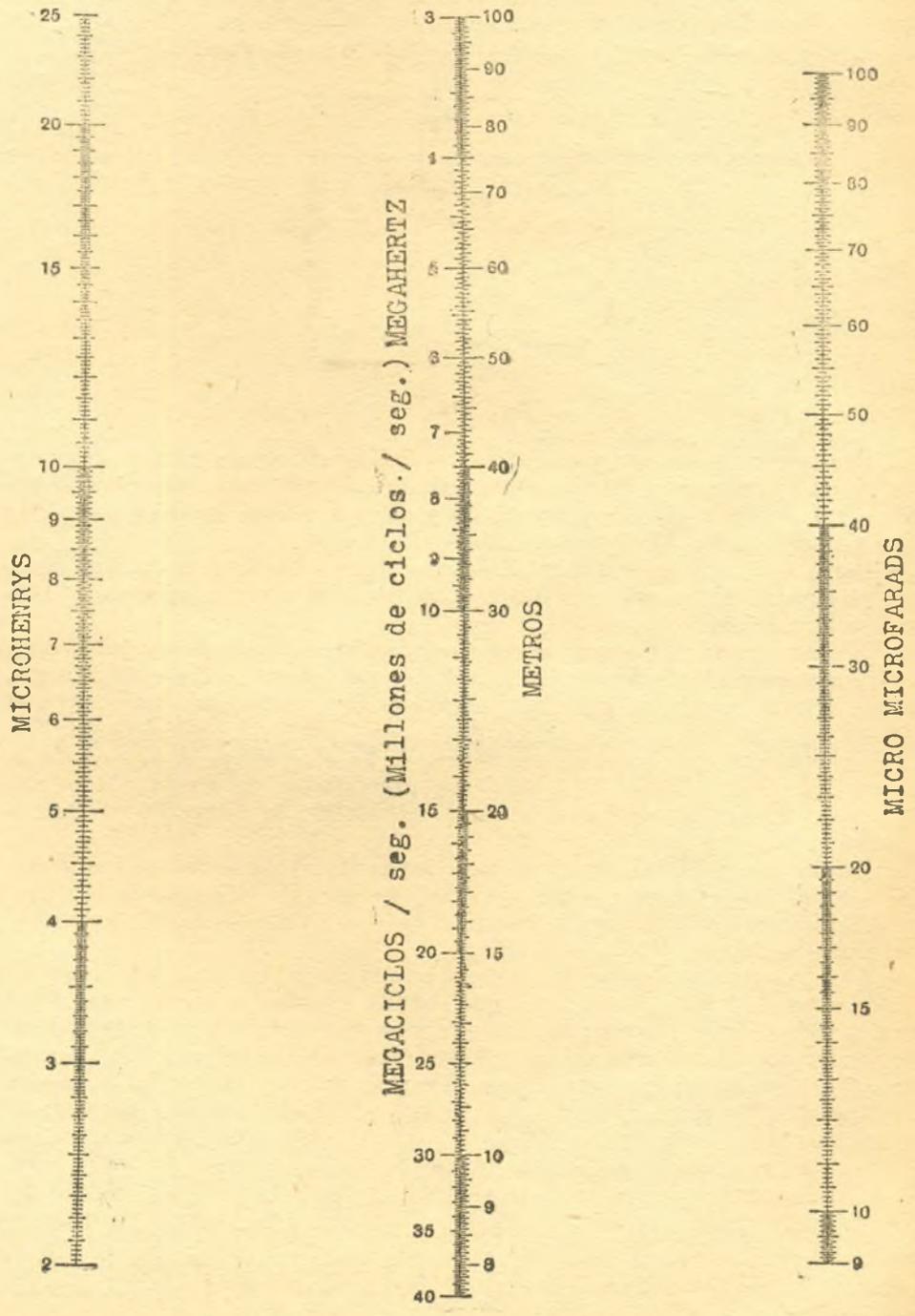
$$L = \frac{159^2}{f^2 \times C} \dots\dots\dots (40)$$

donde L es el valor de la inductancia que deberá tener el circuito; es la frecuencia de resonancia en Kilocertz y C es la capacidad del circuito en microfarad. Se puede utilizar los Abacos 12, 13 y 14 para calcular L.

Sea, por ejemplo, un circuito que deberá resonar a una frecuencia de 500 Kilocertz, siendo la capacidad del circuito de $0,0003 \mu\text{f}$. ¿Cuál será la inductancia para lograr resonancia a la frecuencia deseada?

ABACO N.º 12

Relación entre la inductancia, Capacidad y Frecuencia para Ondas Cortas



$$\text{Si } L = \frac{159^2}{f^2 \times C} = \frac{159 \times 159}{500 \times 500 \times 0,0003} = \frac{25281}{75} = 337 \mu\text{h}$$

Este ejemplo tendría aplicación en el caso de tener que sintonizar un receptor o un transmisor a una frecuencia de 500 KHz. cuando la capacidad utilizada es conocida.

Este ejemplo podría haberse calculado con el Abaco N.º 13.

Hemos visto, en los ejemplos presentados, resonancia en circuitos serie; veamos ahora resonancia como en el caso de la figura 112, en la cual la inductancia y la capacidad están conectadas en paralelo. Este tipo es el más usado en los receptores y transmisores empleados en Radio; por esta razón, veremos en seguida cómo se comportan y se calculan.

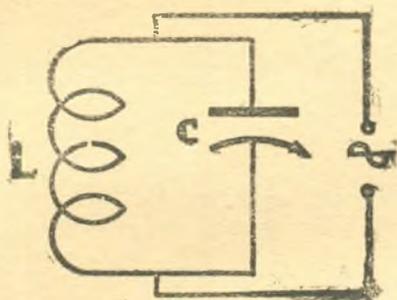


Fig. 112

Por lo pronto, en este caso, todos los fenómenos vistos para la resonancia de un circuito serie es válido para el caso de resonancia de circuito paralelo. De manera que las fórmulas 39 y 40 son válidas también para este caso y por lo tanto, también los Abacos 12, 13 y 14.

Claro está que la impedancia del circuito es distinta en ambos casos por esta razón, según sea la aplicación que se dé al circuito se usará el tipo serie o el paralelo.

No nos detendremos por ahora en estudiar a fondo estos fenómenos, pues los iremos viendo ampliados a medida que aumentan los conocimientos de los lectores de acuerdo a las aplicaciones en la práctica que veremos con el tiempo.

Veamos una aplicación de resonancia en paralelo como en el caso de la figura 104 de la Lección 28a., en donde presentamos un receptor a galena apto para recibir estaciones en la gama destinada a la recepción de Broadcasting.

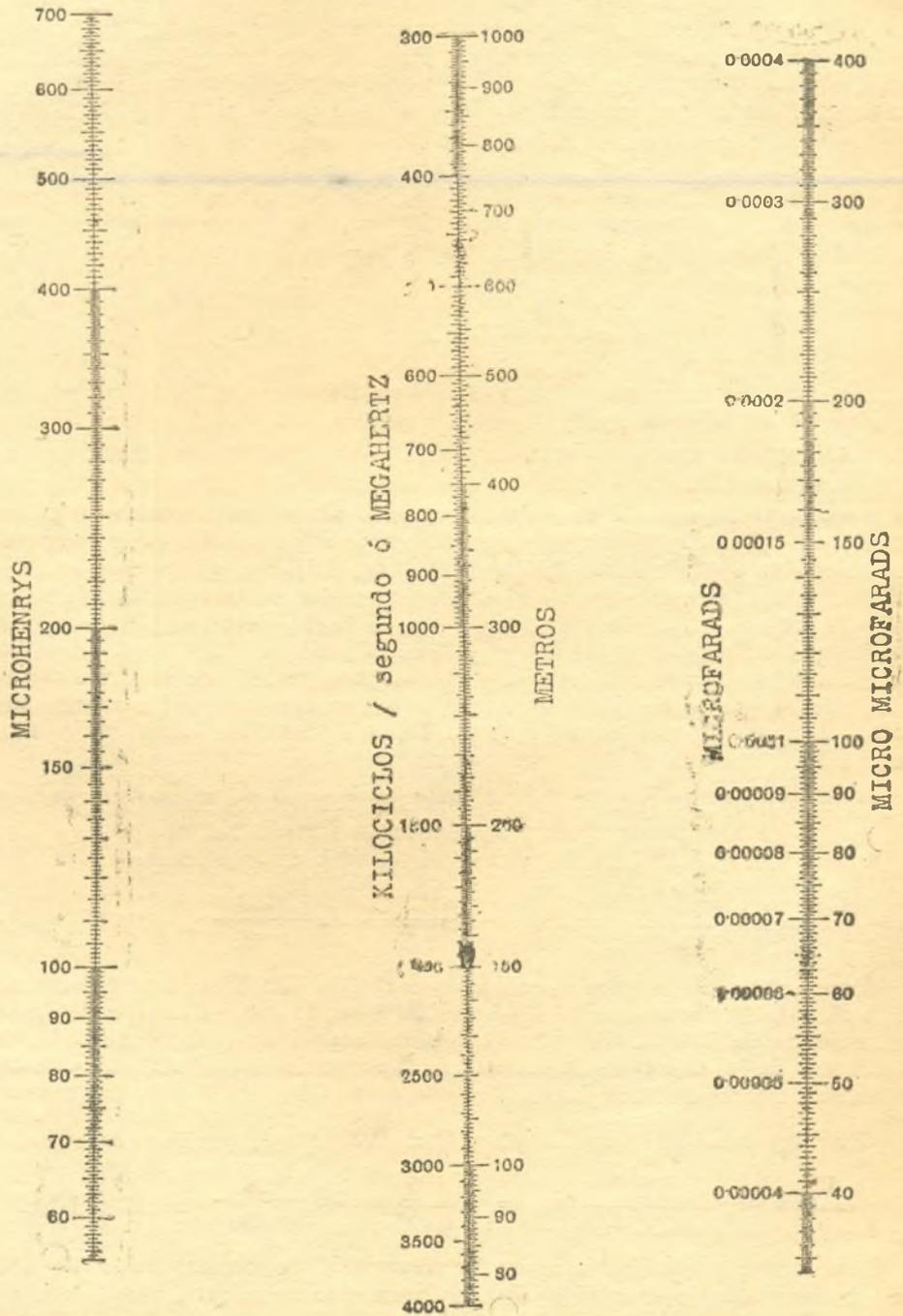
En nuestro país, las Broadcastings que emiten programas de Radiotelefonía lo hacen con transmisores que producen energía eléctrica de alta frecuencia e irradiados por sus respectivas antenas. Cada estación tiene asignada una frecuencia determinada fija.

Las frecuencias destinadas a estas irradiaciones comprenden entre los 500 KHz. a 1500 KHz., de manera que cuando calculamos un receptor debemos hacerlo de manera que podamos obtener resonancia dentro de los límites de frecuencia fijados más arriba. Si por ejemplo tenemos una estación como LR4, cuyo transmisor produce una energía de alta frecuencia de aproximadamente 1000 KHz., debemos calcular una capacidad y una inductancia capaz de obtener resonancia a dicha frecuencia puesto que, como vimos en la curva de resonancia, podremos obtener la máxima intensidad de corriente en el circuito y por lo tanto nos permitiría escuchar dicha estación. Lo mismo ocurriría con todas las estaciones comprendidas entre 550 KHz. y 1500 KHz.

Veamos cómo se aplica esta fórmula 41 para el cálculo de circuitos como medio del fenómeno de la resonancia. Sea el circuito de la figura 112.

ABACO N.º 13

Relación entre la Inductancia, Capacidad y Frecuencia para Ondas de Broadcasting (Ondas medias)



Tenemos una inductancia L y una capacidad (condensador) "C". Como se ve en la figura, el condensador no es de capacidad fija, sino que puede variarse desde un máximo a un mínimo o vice-versa y cuya construcción podría ser la de la figura 86 a la izquierda de la Lección 25a.

Supongamos también que la capacidad máxima del condensador variable C es de 0,00035 μf y la mínima es de 0,00003 μf , es decir, que puede alcanzar todos los valores de capacidad comprendidos entre 0,00035 y 0,00003 μf . Como para cada posición del condensador (la posición de las chapas movibles con respecto a las fijas), tenemos distintos valores de capacidad y como la inductancia tiene siempre el mismo valor, obtendremos una combinación tal que puede resonar a una frecuencia determinada. De manera que si dicha frecuencia de resonancia coincide con la de la estación de Radio, el campo magnético variable de ésta excitará el circuito L; C de la figura 112. Lo mismo sucedería para cualquier posición del condensador.

Por lo poco que se ha explicado, el lector se dará cuenta de que la recepción de radio se efectúa haciendo que el receptor sea capaz de resonar a la misma frecuencia del campo magnético variable de la estación que se quiere escuchar; para esto veamos cuál es la fórmula que dá el valor de la frecuencia de resonancia de un circuito cuyos valores de L y C son conocidos. Esta fórmula es:

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \times C}} \dots \dots \dots (41)$$

en la cual f es la frecuencia de resonancia en Kílohertz; L es la inductancia del circuito en microhenrys y C es la capacidad en microfarad.

Veamos cómo se aplica esta fórmula 41 para el cálculo de circuitos como el de la figura 112.

Supongamos que la inductancia L = 250 μh y que tengamos que sintonizar estaciones cuyos campos magnéticos variables pueden estar comprendidos entre la frecuencia de 550 a 1500 Khz. Dijimos que el condensador variable puede alcanzar los valores comprendidos entre 0,00035 μf , o sea 350 μf , y 30 = μf , o sea 0,00003 μf ; por lo tanto, veremos si la combinación entre L = 250 μh y 0,00035 μf y L = 250 μh y 0,00003 μf puede resonar entre los límites de frecuencia fijados más arriba. Se toman estos límites puesto que si el circuito calculado puede resonar en las frecuencias límites, lógicamente lo podrá hacer en las comprendidas entre 550 y 1500 Khz.

μh y C = 0,00035 μf (cuando las chapas móviles del condensador están todas dentro de las chapas fijas). Aplicando la fórmula 41, tenemos:

Veamos en qué frecuencia resuena el circuito cuando tenemos L = 250

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \times C}} = \frac{159}{\sqrt{250 \times 0,00035}} = \frac{159}{\sqrt{0,875}} = \frac{159}{0,295} = 539 \text{ Khz. apr.}$$

Como este resultado es aproximadamente de 539 Khz., resulta que todavía alcanza frecuencias más bajas de 550 Khz., lo cual se admite perfectamente dentro del límite. Veamos si a mínima capacidad (chapas movibles todas afuera de las fijas) la frecuencia de resonancia del circuito cae dentro del mismo fijado de 1500 Khz.

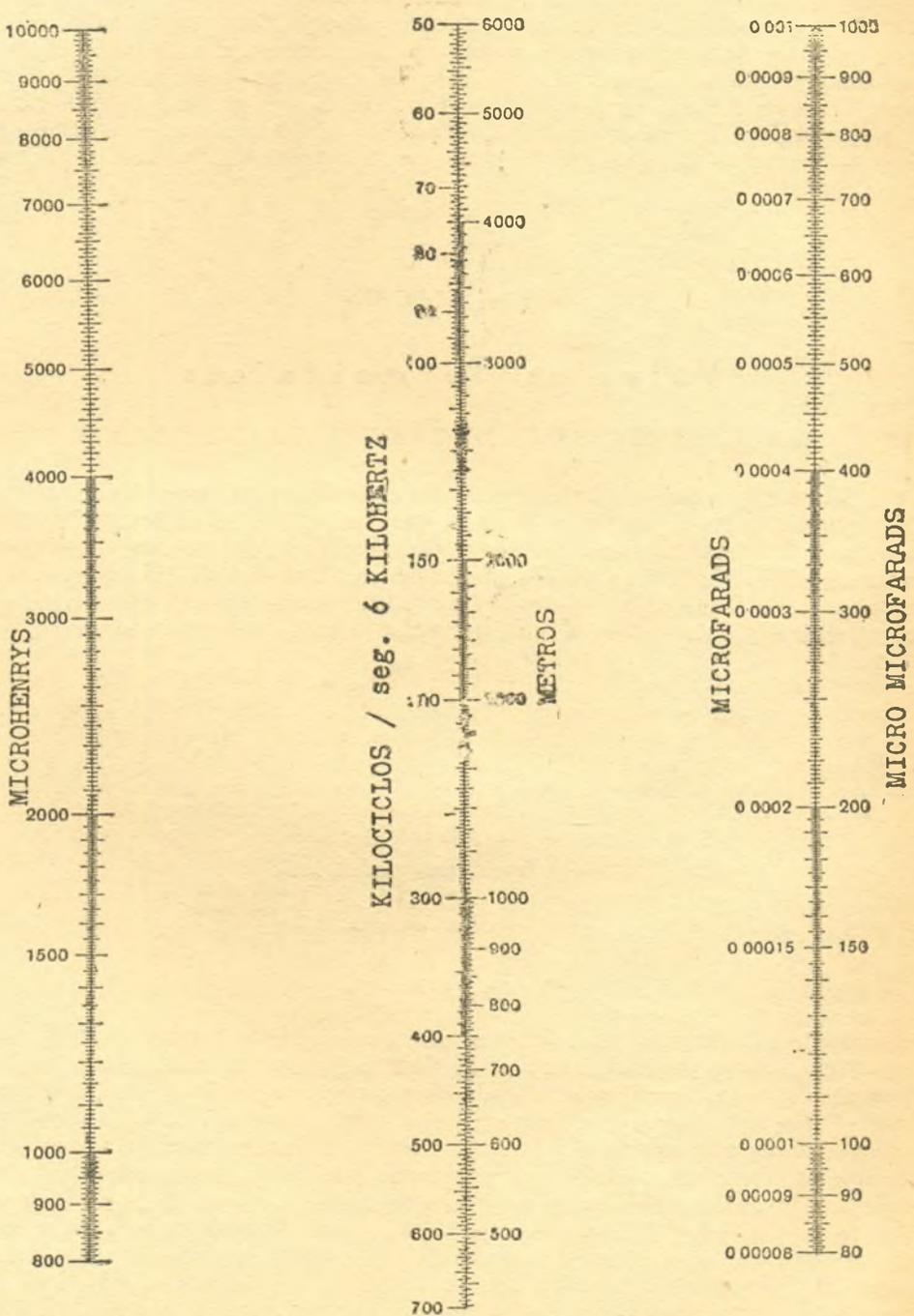
Tenemos entonces L = 250 μh y C = 0,00003 μf ; por lo tanto:

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \times C}} = \frac{159}{\sqrt{250 \times 0,00003}} = \frac{159}{\sqrt{0,0075}} = \frac{159}{0,0866} = 1836 \text{ Khz.}$$

es decir, que a capacidad mínima la frecuencia de resonancia es de 1836 Kh., y como con llegar a 1500 Khz. hubiera sido suficiente, vemos que podemos utilizar los valores fijados para L y C.

ABACO N.º 14

Relación entre la Inductancia, Capacidad y Frecuencia para Ondas largas



Vemos que de acuerdo al cálculo, los límites de frecuencias de resonancia que puede abarcar el circuito de la figura 112 son entre 539 Khz. a 1836 Khz. en lugar de 550 a 1500 Khz. Podemos ver, efectivamente, que el rango de frecuencias para escuchar broadcasting está comprendido dentro de las frecuencias de resonancia que abarca el circuito L y C.

Todos estos valores pueden calcularse con el Abaco N.º 13.

Este cálculo tiene una gran importancia durante los diseños debido a que son previos al cálculo definitivo. Por ejemplo, si tenemos una inductancia de un valor determinado y una capacidad determinada variable y tenemos interés de abarcar un determinado rango de frecuencias, sabremos si es posible con sólo efectuar las operaciones de acuerdo a la fórmula 41 para máxima y mínima capacidad. En algunos casos las inductancias son las que dan más trabajo de fijar el valor debido a que el condensador variable se adquiere de una capacidad determinada, teniéndose por esta razón que buscar un valor de inductancia conveniente para las necesidades de trabajo.

30a. LECCION

Válvulas Termoiónicas

TEORIA ELECTRONICA DE LAS VALVULAS DE RADIO

Sabemos por lo que habíamos dicho anteriormente, que si por un medio cualquiera fuera posible acelerar el movimiento de los electrones, podríamos hacerlos desplazar de su órbita y aún salir fuera del cuerpo. Pues bien; veamos la figura 113, en la cual tenemos una lámpara de luz eléctrica común y conectada a la red de canalización por medio de una resistencia variable con el fin de poder variar a voluntad la caída de voltaje sobre los ex-

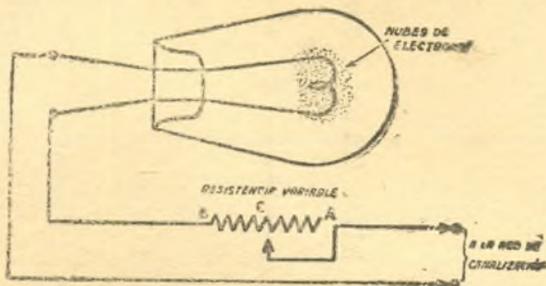


Fig. 113

tremos de la lámpara. Si colocamos el brazo de la resistencia variable en el extremo A, se producirá una caída de tensión determinada y que evitará que el voltaje de la red sea aplicado directamente a la lámpara. Notaremos que el filamento apenas se colorea; eso significa que la corriente que atraviesa el filamento es débil. El lector imaginará que los electrones han acelerado su movimiento debido a la excitación producida por la corriente electrónica. Si corremos el brazo móvil de la resistencia variable (potenciómetro) a la posición "C", la caída de voltaje sobre la resistencia será menor, de manera que se producirá una caída de voltaje mayor sobre los extremos del filamento de la válvula; esto significa que la intensidad de la corriente que atraviesa el filamento será mayor a la del caso anterior y en consecuencia dicho filamento se pondrá de un color rojizo. Dicho color se

debe a que al aumentar la intensidad de la corriente ha excitado aún más el movimiento de los electrones. Si suponemos que la velocidad de los electrones es bastante grande, llegará un momento en que éstos serán despedidos de su órbita por efecto de la fuerza centrífuga (no nos olvidemos que los electrones tienen "masa" y por lo tanto tienen "peso") y ocuparán otros espacios dentro del cuerpo y quizá órbitas abandonadas por otros electrones. Si el brazo del potenciómetro lo conectamos en la parte B, resultará que tendremos conectado directamente la red de canalización al filamento de la válvula, encendiéndose éste al máximo, dando un color blancuzco. Dicho color se debe a la gran temperatura que alcanza el filamento debido a que el aumento de la intensidad de la corriente ha excitado de tal manera a los átomos del filamento que sus electrones son despedidos en gran número fuera de sus órbitas a una gran velocidad, quizás muchos de ellos son despedidos del filamento hacia el espacio dando origen a una **Nube de Electrones** que circunda toda la superficie del filamento. Dicha nube de electrones forma un campo eléctrico negativo, que se agita a una gran velocidad alrededor del filamento. Si tuviéramos un imán, podríamos atraer a los electrones que quedaron libres, esto es, los que fueron despedidos del filamento. También se podría atraer dichos electrones sustituyendo el imán por una placa de metal colocada frente al filamento y conectada a una pila por el polo positivo y el negativo de la misma al filamento. Veamos la figura 114. (Dicho

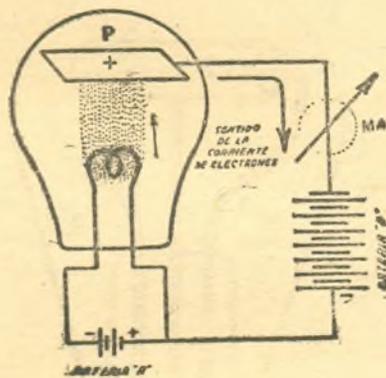


Fig. 114

tipo de pilas está formado por muchas conectadas en serie. Se las denomina **batería**, y como están destinadas a alimentar circuitos de placa, las llaman "Batería B").

Notaremos que en estas condiciones los electrones son atraídos por la placa que se halla a un potencial positivo de tal suerte que los electrones que llegan a dicha placa siguen su camino por el conductor que une a la placa con la batería, la atraviesan para volver luego al filamento por el polo negativo de la batería a que fué conectado el filamento. ¿Qué ha ocurrido en realidad? Que hemos conseguido establecer un circuito electrónico, diremos eléctrico, por el solo hecho de conectar el polo positivo de una batería a una placa de metal colocada próxima a un filamento incandescente y dentro de una ampolla donde previamente se había extraído completamente el aire. A este fenómeno se le llama **Efecto Edison**, porque fué observado por Thomas Alva Edison, el inventor de la lámpara de luz eléctrica, en 1884, quien no le dió importancia, pues no llegaba en aquel entonces a comprender dicho fenómeno de una manera científica. Edison observó además que si colocaba un miliamperímetro en serie con el circuito de la batería, éste acusaba el pasaje de una corriente eléctrica, fenómeno éste que indicaba que, en realidad, se cerraba el circuito eléctrico como si el espacio existente entre el filamento y la placa se hubiese unido por medio de alguna resistencia.

Este tipo de lámpara se lo conoce hoy día como lámpara de dos "Electrodos", por ser dos los elementos que intervienen para la conducción de los electrones o también más simplemente Diodo, que significa lo mismo.

Debemos aclarar que este fenómeno será más perfecto, cuanto mayor sea el vacío de la ampolla, pues si no fuese así se produciría la combustión del filamento debido a la acción del oxígeno del aire.

LAMPARA DE DOS ELECTRODOS O DIODO

El fenómeno antes explicado, o sea el Efecto Edison, no trascendió mayormente hasta el año 1912 en que el Ingeniero Lee de Forest, estudió dicho fenómeno y le dió explicación científica, dándole además la forma y construcción que no difiere en mucho de un triodo moderno. Se puede decir que la era de la Radio y los adelantos que se consiguieron se deben exclusivamente al descubrimiento de este gran sabio. Si bien es cierto que el primero que trató de utilizar el Efecto Edison, en el campo Radioeléctrico fué Fleming, que sustituyó el detector de galena u otro similar por una lámpara construída por él mismo y que tenía más o menos la forma de la figura 115. Dicha lámpara estaba formada por un filamento recto sujeto por dos soportes

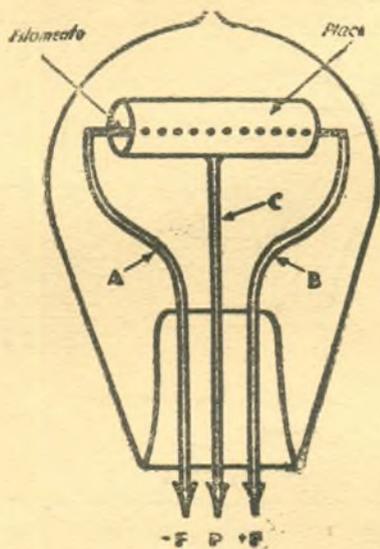


Fig. 115

metálicos A y B; y una placa de forma cilíndrica y soportada por una varilla metálica C. El filamento estaba colocado de tal manera que pasaba exactamente por el centro o sea el eje del cilindro formado por la placa. Fleming diseñó dicha lámpara de acuerdo a la experiencia acumulada por él en el estudio del Efecto Edison.

Por esta razón descubrió que solamente pasaba una corriente a través de la lámpara cuando la placa estaba a un potencial positivo con respecto al filamento. Veamos cómo realizó dichas experiencias. Construyó un circuito como puede verse en la figura 116.

Utilizó una batería para calefactar el filamento (batería A) y otra batería de muchos elementos (batería B) de manera de obtener un voltaje elevado para el potencial de la placa.

Conectó en serie con el circuito de la placa un miliamperímetro con el fin de poder medir la corriente de electrones.

Además agregó en el circuito una llave con varios topes de tal manera que le permitía conectar dichos topes a distintos voltajes de la batería y poder de esta manera aplicar distintos potenciales a la placa. Cuando el brazo

móvil de la llave estaba en la posición "O", la placa quedaba conectada a un potencial cero con respecto al filamento, de manera que la placa no atrae electrones y no se produce ninguna corriente en el circuito (*).

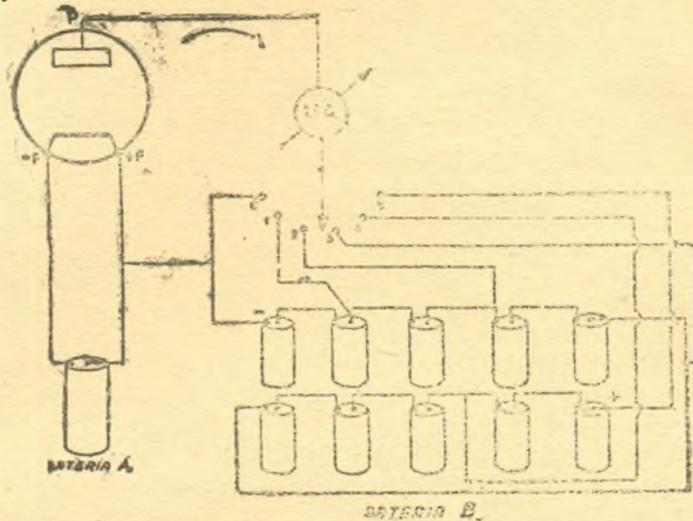


Fig. 116

Si se conectaba el brazo móvil de la llave al punto 1, se producía una corriente que era acusada por el miliamperímetro y que era debida a la atracción de electrones hacia la placa por estar a un potencial positivo mayor que el filamento. Si se conectaba al punto 2, el miliamperímetro acusaba una intensidad mayor y que era debida al aumento de la diferencia de voltaje entre la placa y el filamento, lo que significaba que la placa atraía mayor número de electrones. Si se conectaba al punto 3, la corriente aumentaba aún más todavía; en el punto 4 aumenta un poquito más y el 5 la intensidad de la corriente es casi la misma que la acusada en la posición 4. ¿Qué ha pasado? Veamos primero la figura 117, en la cual está representada gráficamente una curva y que es la característica de la válvula descripta y trazada durante dicha experiencia.

¿Qué es lo que nos indica dicha curva?

Tenemos representados sobre el eje horizontal los valores del voltaje aplicados a la placa de la lámpara y en el eje vertical los valores de la intensidad de la corriente indicada por el miliamperímetro conectado en el circuito de placa de la figura 116.

Si teníamos conectada la llave en el punto "O" no habrá ningún potencial entre la placa y el filamento, de manera que no hay pasaje de corriente a través del circuito. En la figura 117, este valor está representado por cero voltaje y cero amperes (en nuestro caso miliamperes), en el punto "O", o sea donde los dos ejes se cortan. Si conectamos la llave en el punto 1, el miliamperímetro, nos indica un pasaje de corriente por el circuito de 0,75 M.A.; el voltaje que corresponde a dicho punto ha sido suministrado por la derivación de la batería B, que es de 10 Volts. El punto de la curva que corresponde a esta posición de la llave, es el "1" de la curva. Colocada la llave en el punto 2, se aplicó un potencial mayor a la placa con respecto al filamento; en este caso 20 Volts, el instrumento indica en ese momento 2 miliamperes y en la curva correspondiente al punto "2". Conectada

(*) Si se tuviese un instrumento muy sensible se notaría una pequeña corriente que es debida a que la placa está conectada al + F y por lo tanto existe una diferencia de potencial con respecto a - F. En la práctica, se puede despreciar si el voltaje entre + F y - F es pequeño.

la llave en el punto "3", el miliamperímetro indicó una corriente de 3,2 M. A., siendo el voltaje aplicado de 30 Volts. Vemos que hasta ahora, a medida que aumentamos el potencial aplicado a la placa, éste atrae mayor cantidad de electrones, lo que se traduce en un mayor aumento en la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito. Si unimos los puntos 1, 2, 3, obtenidos en la "prueba", veremos que éstos se encuentran en una misma línea prácticamente, es decir, que a un aumento proporcional del voltaje aplicado a la placa, le corresponde una atracción proporcional de electrones, pues vemos que la variación de la corriente es lineal con respecto al voltaje.

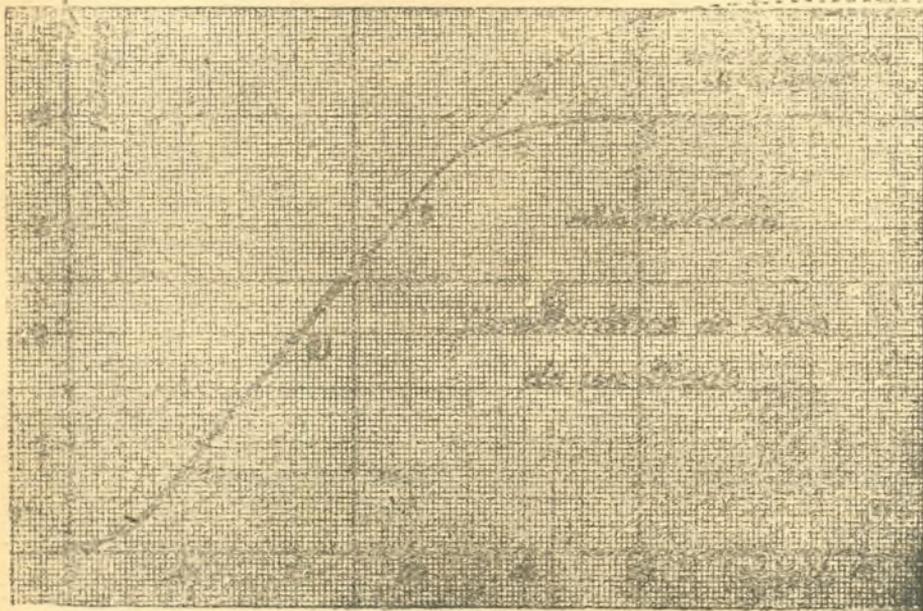


Fig. 117

Si ahora conectamos la llave en el punto 4, es decir, que aumentamos el potencial a 40 Volts, leemos en el miliamperímetro 3,9 M. A. Vemos que si quisiéramos prolongar la recta 1-3, ésta no pasaría por el punto 4, sino más arriba; esto quiere decir que algo raro sucede, pues ya la intensidad de la corriente no varía proporcionalmente, sino que no ha aumentado en la misma proporción. Lo que sucede es lo siguiente: sabemos que los electrones atraídos por la placa, son los que por su gran velocidad han sido despedidos del cuerpo del filamento formando una nube alrededor de él. Pero la cantidad de electrones que se encuentran en esas condiciones no son todos los que contiene el cuerpo, de manera que si se aumenta el potencial de placa, llegará el momento que la "demanda" de electrones no es suficiente dando origen a que la corriente originada por éstos no aumente proporcionalmente con el aumento del voltaje. Y más aún se observa si se coloca la llave en la posición 5, que la corriente que indica el miliamperímetro es de 4 M. A. Donde ven los lectores que ya va disminuyendo en proporción la cantidad de electrones. El punto 5 de la curva indica las lecturas de la posición 5. Si tuviéramos una batería de mayor voltaje, por ejemplo 60 ó 70 Volts, veríamos que, a partir del punto 5, ya la intensidad de la corriente no aumenta más aún si aplicamos a la placa 60 ó 70 Volts.

En este caso, al punto 5 se le llamaría **Punto de Saturación**, pues es el punto en que la intensidad de la corriente alcanza el máximo valor. O sea

dicho en otras palabras, es el punto en que el filamento ya no entrega más electrones.

La parte de la curva que sigue al punto "5", se llama **Zona de Saturación**, porque por más que aumentemos el potencial aplicado a la placa, no sería posible aumentar la cantidad de electrones atraídos por éstos.

Los lectores podrán darse cuenta exacta de lo que pasa dentro de una lámpara de este tipo (dos electrodos o diodos) a través de lo explicado.

Si quisiéramos trazar todos los puntos que forman la curva encontraremos que la parte entre el 0 y 1, veremos que es levemente cóncava y es debido a que la atracción regular de los electrones por la placa comienza después de cierto límite.

Respecto a la parte de saturación de la válvula, es importante tenerla en cuenta, pues su conocimiento significa que en ningún momento se hará trabajar a ésta en dicha zona, es decir, que en condiciones determinadas del filamento (temperatura del filamento) no podremos excedernos del punto 3 de la curva o sea cuando el potencial de la placa es de unos 30 Volts; en caso contrario, corre riesgo de que el filamento trabajando en condiciones tales entregue el máximo de electrones y se "ionizará", es decir, se "agotará", inutilizándose.

En radio se emplea acertadamente la palabra "ionizar" porque si a un cuerpo se le extraen todos los electrones, éste se ionizará positivamente, y como la corriente la producen, como ya dijimos, los electrones, al estar el cuerpo ionizado positivamente (exceso de protones) éste dejará de emitir electrones.

Si en el caso de la figura 116, en lugar de conectar una pila al circuito de filamentos conectamos dos en serie, es decir, que duplicamos el voltaje, la intensidad de la corriente que atravesará el filamento será también mucho mayor, lógicamente el doble. ¿Qué sucederá con los electrones del filamento? Puesto que dichos electrones se moverán a una mayor velocidad, saldrán más fácilmente del cuerpo dando origen a que el filamento eleve su temperatura a valores enormes (3000° C. a veces), dando origen también a una nube de electrones de mayor cantidad. Si en esas condiciones repetimos el experimento de la figura 116, se podrá trazar una curva tal que coincidirá exactamente con la trazada en la figura 117; hasta el punto 3 y a partir de dicho punto, esta curva seguirá la trayectoria indicada con puntos. Se ve entonces que elevando la temperatura del filamento, se puede desplazar el punto de saturación a zonas donde los voltajes de placa son mayores como también el punto de funcionamiento puede llegar hasta el punto 4. En las lámparas empleadas en la práctica, esto no podría hacerse, pues no habría manera de construir filamentos para distintos puntos de trabajo y que mantuvieran constantes características de funcionamiento.

¿Qué sucedería si en lugar de aplicar a la placa un potencial positivo con respecto al filamento le aplicáramos un potencial negativo?

Los lectores pueden imaginar que si la placa está a un potencial negativo y frente a ella una nube de electrones (carga negativa), lógicamente dos cargas del mismo signo se rechazan, de manera que el potencial negativo aplicado a la placa rechazará a los electrones obligándolos a volver a su lugar primitivo dentro del filamento, dado que éstos son atraídos por el positivo que se ha conectado al filamento. De manera que si conectamos un miliamperímetro en el circuito de la placa, se comprobará en efecto que por el circuito no pasa ninguna corriente. Esta disposición, para que los lectores la vean más claramente, se muestra en la figura 118.

De acuerdo a lo que hemos explicado para la lámpara diodo y cuya conclusión fué la que llevó a Fleming a utilizarla para detectar señales en substitución de la galena es la siguiente: "EL DIODO PERMITE SOLA-

MENTE EL PASAJE DE LA CORRIENTE EN UN SOLO SENTIDO".
 (En la lección siguiente veremos cómo se aplica este principio).

Por lo pronto vemos que pasa corriente a través del circuito de placa de la lámpara cuando la placa está a un potencial positivo y a un potencial tal que sea capaz de atraer electrones del filamento incandescente, y en ningún caso es posible que pase corriente a través de la lámpara cuando dicha placa está a un potencial negativo.

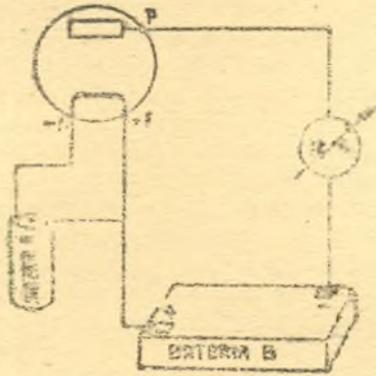


Fig. 118

RECTIFICACION

Veamos qué sucede si conectamos en el circuito de placa un voltaje determinado de corriente alternada. Veamos la figura 119.

En dicha figura tenemos un diodo del mismo tipo que el utilizado en las explicaciones anteriores.

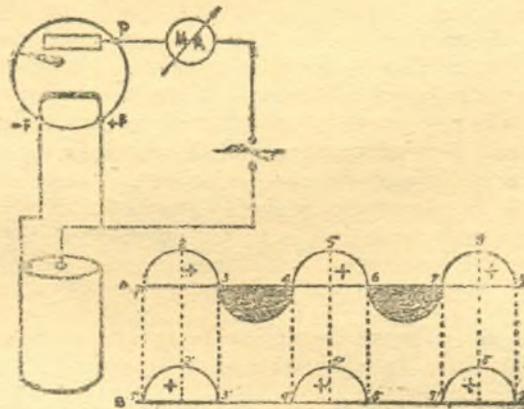


Fig. 119

El filamento es calentado por una pila y el voltaje de placa es suministrado por una fuente de corriente alternada.

En cuanto la f.e.m comience a aumentar de valor comenzará a circular una corriente en el circuito que aumentará de valor hasta un máximo cuando éste alcanza el valor "2". Es lógico que la corriente de electrones siga el ritmo de esa variación porque ésta depende de la variación de potencial aplicada a la placa. De manera que podemos representar esta variación de la corriente electrónica gráficamente como puede verse en la fig. 119 B. 1' a 2' representan la variación de cero a un máximo de la corriente de electrones

que corresponden a la variación de cero a un máximo de la diferencia de potencial aplicada a la placa (de 1 a 2, fig. 119 A).

A partir del punto 2 (fig. 119 A), la f.e.m. decrece hasta cero (3), de manera que también la corriente decrecerá de un máximo a cero, como se ve en figura 119 B (2'-3'). A partir del punto 3, la f.e.m. cambia de signo hasta un máximo negativo para luego decrecer hasta cero nuevamente en 4. Por lo tanto, si a la placa se le conecta un potencial negativo variable o no, ésta rechazará a los electrones hacia el filamento de manera que por el circuito de placa no circulará ninguna corriente. Por lo tanto, el miliamperímetro después de aumentar hasta un valor máximo cuando la corriente electrónica alcanzó el valor 2, decreció hasta cero para el valor 3 y no acusó ningún pasaje de corriente durante el tiempo en que se produjo el semi-ciclo negativo. Por lo tanto, en la figura 119 B, queda interrumpida la curva debido a que entre los puntos 3' y 4' no ha circulado corriente a través de la lámpara. Después del punto 4 (figura 119 A), comienza otra vez a circular corriente por el circuito de placa porque nuevamente la f.e.m. se ha hecho positiva, de manera que se repetirá el mismo proceso al llegar al punto 5 como lo hizo en el 2 (fig. 119 A) para volver a cero en el punto 6.

A estos valores de diferencias de potenciales le corresponde una variación de corriente acusada por el miliamperímetro de 4' a 5' y de 5' a 6' (figura 119 B) y así sucesivamente; por lo tanto, en el próximo semiciclo negativo, o sea entre los puntos 6 y 7, no pasará corriente por el circuito, de manera que este fenómeno quedará indicado en figura 119 B, entre los puntos 6' y 7'. Si esta variación de la f.e.m. se produce a una frecuencia muy lenta, podríamos ver en el miliamperímetro cómo éste comienza a aumentar de valor hasta un punto máximo para luego decrecer hasta cero; luego no acusa ningún pasaje de corriente durante un tiempo igual al semiciclo anterior, a partir del cual el miliamperímetro vuelve a acusar un pasaje de corriente hasta un máximo de igual magnitud al caso anterior y luego volver a cero y otra vez no acuse pasaje de corriente durante un tiempo igual al semiciclo anterior y así sucesivamente. ¿Qué conclusión pueden los lectores obtener de esta experiencia?

Pues, 1.º: que queda demostrado que la válvula se hace "conductora" solamente cuando el potencial de la placa es positivo con respecto al filamento; 2.º: por lo tanto, solamente pasa corriente por la lámpara en un solo sentido; y 3.º: que queda anulado el semiciclo negativo.

Recordemos estos conceptos, pues son de enorme aplicación en la práctica y en la aplicación de nuevos conocimientos. Volviendo al caso de la figura 119. Si en lugar de que la variación de los valores de la f.e.m. fuesen lentos, lo fuesen rápidos como por ejemplo 50 Hertz, la aguja por su inercia no tendría tiempo de volver a su posición cero, de manera que alcanzará a indicar un valor determinado de intensidad y oscilando sobre sí misma 50 veces por segundo bajo los impulsos de los "50" "máximos" "positivos" por "segundo".

Si la frecuencia de la corriente fuese muy elevada, dicha vibración de la aguja del miliamperímetro no se llegaría a notar, dando la impresión de que al circuito se ha aplicado una f.e.m. de corriente continua. Pero los lectores ya saben que en realidad la corriente de la f.e.m. tiene la forma de la figura 119 B, y a dicho fenómeno se lo denomina corriente RECTIFICADA porque se han conseguido eliminar la semi-onda negativa, de manera que si se aplicó una corriente alternada a la placa, por el circuito, circulará solamente una CORRIENTE PULSANTE, pues las variaciones son siempre en el mismo sentido (positivas).

Oportunamente veremos cómo se hace para que dicha corriente pulsante se pueda filtrar y obtener una del tipo de corriente continua.

El circuito utilizado por Fleming para detectar señales de Radio puede verse en la figura 120.

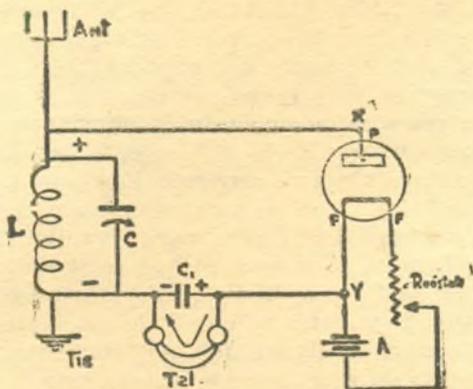


Fig. 120. — Si entre los puntos X e Y desconectamos la válvula y en su lugar conectamos una galena, tendremos el mismo circuito de la figura 104.

TRIODO

El diodo, tal como lo utilizó Fleming, era suficientemente en lo que a sensibilidad se refiere, pues se obtenían los mismos resultados que con la galena, quizás un poco más de energía en la recepción.

El ingeniero Lee de Forest, desde las primeras experiencias que efectuó en base al Efecto Edison, pensó en la manera de poder controlar los haces electrónicos formados por los electrones atraídos por la placa, de una manera independiente de los voltajes, aplicados a la placa. Sus esfuerzos en ese sentido se vieron muy pronto coronados por el éxito, pues, como dijimos ya en esta misma lección, construyó una lámpara, de tres electrodos. Esta, en realidad, sería un diodo como el utilizado por Fleming, pero con la diferencia de que en el espacio entre la placa y el filamento había colocado una malla o rejilla como se puede ver en la figura 121.

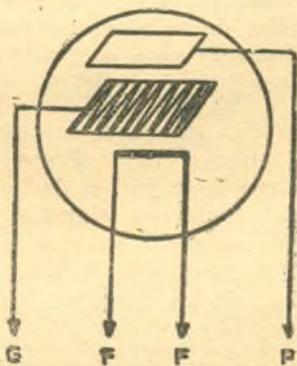


Fig. 121

Dicha malla o rejilla estaba formada por un cuadro de alambre y en cuyo espacio se entrelazó en forma de zig-zag un alambre muy fino. Los lectores verán de inmediato que la rejilla está precisamente en el camino que toman los electrones cuando son atraídos por la placa. Veremos en seguida qué rol desempeña este nuevo elemento y que fué el que revolucionó toda la Radiotécnica. Los lectores ven también cuál es la causa que a este tercer elemento se lo llame en la práctica "Reja" o simplemente "Grilla". Nosotros emplearemos indistintamente ambas.

Veamos qué conclusiones obtenemos de la figura 122. Tenemos conectado un triodo de la siguiente manera: Una batería "A" para el calentamiento del filamento; una tubería "B" para el potencial de la placa positivo y una batería con derivaciones "C" para poder variar los potenciales aplicados a la reja con el fin de ver qué sucede en el circuito de placa, para lo cual

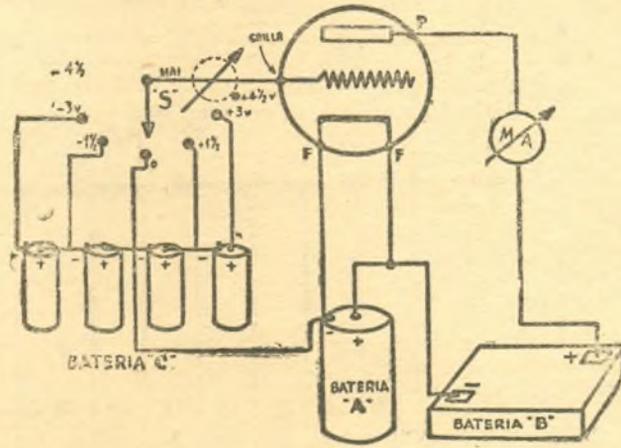


Fig. 122

conectamos en el circuito de placa un miliamperímetro en serie. Para poder variar más cómodamente los voltajes aplicados a la reja lo hacemos, por intermedio de una llave selectora "S". Pongamos el brazo móvil de la llave en el punto cero, o sea en el que la grilla quede conectada al negativo de la batería de filamento. En estas condiciones veremos que el miliamperímetro nos acusará una intensidad de corriente determinada que dependerá del potencial entre placa y filamento. Si ahora colocamos la llave en la posición $-1 \frac{1}{2}$ Volts, veremos que el miliamperímetro acusa una intensidad de corriente menor a la del caso anterior. Si conectamos la llave en -3 Volts, notamos que el miliamperímetro indica una intensidad menor todavía. Si conectamos la llave en la posición $-4 \frac{1}{2}$ Volts, resultará que el miliamperímetro indica una intensidad de corriente muy pequeña y si agregamos otra pila, por ejemplo de manera que tengamos -6 Volts, veremos que la corriente que atraviesa por el circuito de placa es prácticamente nula. ¿Qué significa este

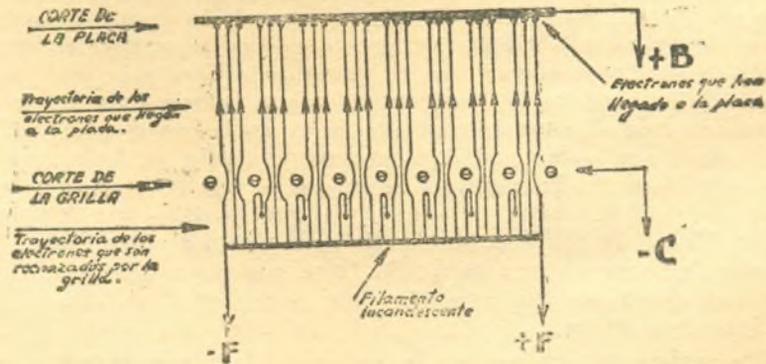


Fig. 123. — Corte de un triodo "mostrando" la trayectoria de los electrones cuando la reja está a un pequeño potencial negativo respecto al filamento.

fenómeno? Pues si los electrones que se dirigen hacia la placa tienen que pasar forzosamente por entre los alambres de la reja, de manera que si la reja no está conectada a ningún potencial respecto al filamento, dicha reja no

afectará el paso de los electrones, pero si se le conecta un potencial negativo con respecto al filamento, resulta que cuando el electrón llega cerca de la reja en su paso hacia la placa, será rechazado de vuelta al filamento y solamente pasarán a través de ella los que no estén muy cerca de los alambres que forman la reja, lo que significa que si la cantidad de electrones atraídos no llegan a la placa se reducirá la corriente de electrones; por lo tanto, el miliamperímetro acusará un pasaje de corriente menor.

En las figuras 123 y 124, puede verse gráficamente el fenómeno explicado, en el cual la figura 123 sería el caso en que la llave está en la posición de $-1\frac{1}{2}$ Volt y el de la figura 124, el caso en que la llave está en la posición de $-4\frac{1}{2}$ Volts.

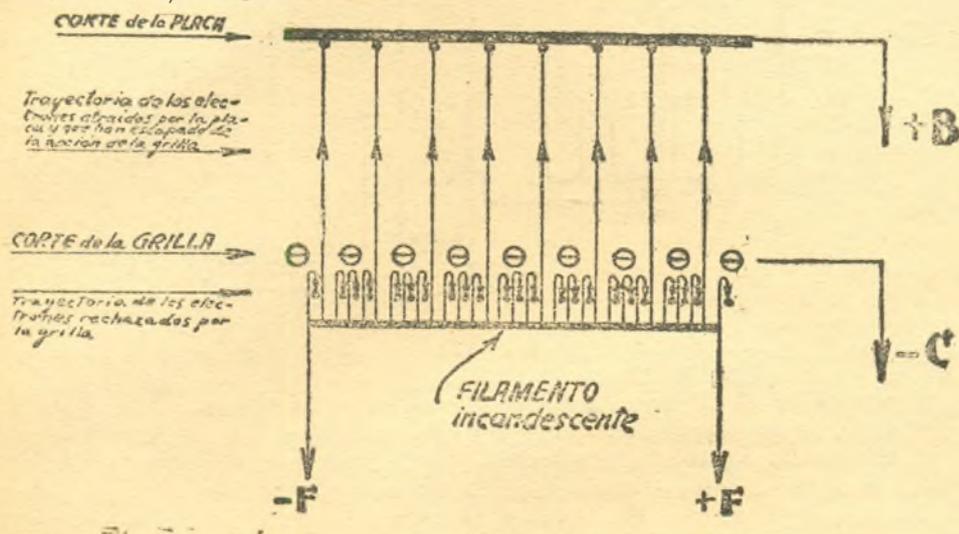


Fig. 124. — Corte de un triodo "mostrando" la trayectoria de los electrones cuando la rejilla está a un potencial negativo muy elevado con respecto al filamento.

Queda entonces explicado por qué la intensidad de la corriente del circuito de placa disminuye a medida que hacemos más negativa la rejilla con respecto al filamento.

Volvamos al caso de la experiencia de la figura 122 y conectemos la llave en la posición $+1\frac{1}{2}$ Volt y veremos que la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito de placa ha aumentado considerablemente y es mayor al caso en que la llave estuvo en la posición cero. Si ahora pasamos la llave a la posición $+3$ Volts, veremos que el miliamperímetro acusa una intensidad de corriente mayor aún. Si pasamos la llave a la posición $+4\frac{1}{2}$ Volts, la intensidad de la corriente adquiere valores enormes y si aumentáramos aún más el potencial positivo de la rejilla con respecto al filamento, llegaríamos a que la intensidad ya no aumenta más, es decir, hemos llegado a la saturación de la lámpara, es decir, que el filamento ya no está en condiciones de entregar más electrones. ¿A qué se debe este fenómeno? Pues muy sencillo: Si la rejilla se hace positiva respecto al filamento, éste atraerá electrones de la misma manera que si fuese una placa de superficie pequeña, de manera que si se aumenta aún más el potencial positivo de la rejilla, más electrones atraerá.

Pero ¿cómo se explica que la corriente de placa aumente también de intensidad? Pues como los electrones se colocaban a una distancia menor de la placa debido a la acción de la rejilla, resulta que dicha placa atrae mayor cantidad de electrones.

¿Qué sucede si conectamos en el circuito de la rejilla un miliamperímetro? Pues si a la rejilla se le conecta un potencial positivo, éste atraerá elec-

trones, de manera que circulará por el circuito de ésta una corriente cuyo sentido será desde la grilla al filamento a través del miliamperímetro "MAI" (que se indica punteado en la figura 122).

Si dicho miliamperímetro ("MAI") hubiese sido conectado durante los momentos en que se habían aplicado a la grilla potenciales negativos, hubiéramos constatado que no pasa corriente por su circuito y que solamente en el caso en que ésta empieza a tener un potencial positivo respecto al filamento. Podemos decir entonces, que mientras el potencial de la grilla sea negativo, éste se comportará para con la corriente como si su circuito tuviese una resistencia infinita.

Repasemos lo dicho: Si a la grilla se le aplican potenciales negativos con respecto al filamento, la corriente de placa irá disminuyendo de intensidad a medida que dicho potencial negativo aumenta, de manera que llega un momento en que la corriente de placa queda acumulada completamente. Si en lugar de aplicar a la reja potenciales negativos, aplicamos voltajes positivos, resultará que la corriente de placa aumentará a medida que aumenta dicho potencial positivo hasta un momento en que la corriente de placa ya no aumenta de intensidad (Saturación).

Recordemos que cuando la grilla adquiere potenciales positivos con respecto al filamento en su circuito, se hace presente una corriente pequeña y que aumentará de intensidad a medida que dicho potencial positivo aumenta. ¿Qué me dicen los lectores de este maravilloso descubrimiento hecho por el Ingeniero Lee De Forest? Este sabio ha conseguido poder controlar la cantidad de electrones que se dirigen hacia la placa haciendo que varíe por esta razón la corriente de placa. De manera tal, que si se hace variar los potenciales aplicados a la grilla, la corriente de placa variará al unísono con dichas variaciones, quedando de esa manera impresa en el circuito de placa la forma de variaciones de los potenciales de grilla. Más tarde veremos la importancia de estos fenómenos.

Con razón decía el físico Oliver Lodge, que "la grilla es el regulador del tráfico electrónico".

CARACTERISTICA DE GRILLA Y PLACA DE UN TRIODO Y SU INTERPRETACION

Veamos ahora cómo podemos representar gráficamente las variaciones de potencial aplicadas a la reja en función del efecto producido sobre la corriente de placa.

La figura 15, muestra una curva que se llama "Característica de Grilla" y que en la práctica tiene una importancia enorme poder interpretarlas pues de acuerdo a ellas es posible saber en qué punto una lámpara puede trabajar como detectora o amplificadora, así como también en qué condiciones de voltaje. Esto da una ligera idea al lector de la importancia que tiene el conocimiento de las curvas características. Antes de proseguir, en lugar de hablar de lámpara, la llamaremos "Válvula", pues es más correcto.

Pues bien; en la figura 125 tenemos que sobre el eje horizontal se han marcado en escala los voltajes positivos y negativos aplicados a la grilla, de manera que a la izquierda del cero están los valores negativos y a la derecha del cero los positivos.

El eje vertical ha sido trazado perpendicular en el punto cero. En dicho eje se han marcado en escala los valores de intensidad leídos en el miliamperímetro durante la experiencia de la figura 122.

La curva fué trazada de la siguiente manera: Cuando la llave de la figura 122 estuvo en la posición cero, el potencial de grilla era cero y el miliamperímetro indicaba una intensidad de corriente de 4,25 M. A., de manera que marcamos en el papel el punto cero. Luego colocamos la llave en

la posición $-1,5$ Volts; entonces el miliamperímetro marcó 2 M.A. En la posición de -3 Volts marcó el M. A. una intensidad de 0,85 M. A. En la posición $-4,5$ Volt, se leyó 0,25 M. A.; y si se aplicara -6 Volts a la grilla se leería

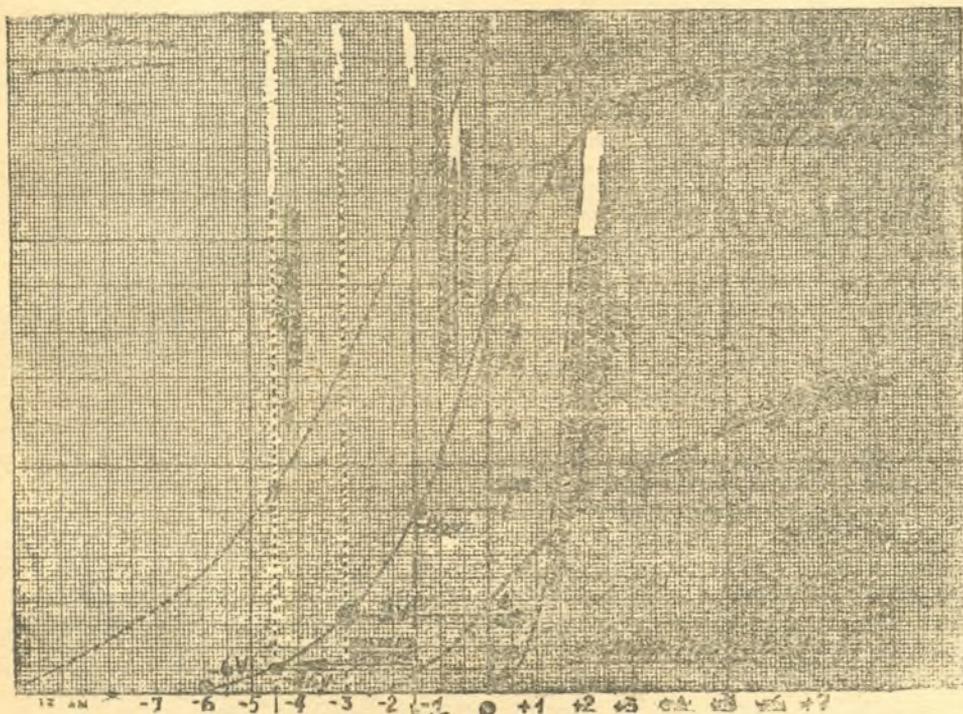


Fig. 125

0,05 M.A. Si ahora conectamos la llave en la posición $+1,5$ Volts, la corriente de placa acusada en el miliamperímetro era de 5,8 M.A.; en la posición $+3$ Volts, se lee en el miliamperímetro 6,5 M.A.; en la posición $+4,5$ Volt se lee 6,8 M.A. Ahora, uniendo los puntos $-6V.$; $-4,5V.$; $-3V.$; $-1,5V.$; 0; $+1,5V.$; $+3V.$; $+4,5V.$; etc.; obtendremos la curva de línea llena que puede verse en fig. 125 y que indica a cualquier persona que pueda interpretarlas cómo se comporta dicha válvula cuando en condiciones determinadas de potencial fijo (constante) positivo aplicado a la placa se obtienen determinadas intensidades de corriente de placa para distintos valores de voltaje aplicadas a la grilla de dicha válvula. Como podrá imaginar el lector, esto da una idea exacta de cómo se comportará la válvula cuando se le aplica voltajes determinados. En la misma figura 125, se muestra en línea de rayas los valores que alcanza la intensidad de la corriente del circuito de grilla cuando se le aplican voltajes positivos que fueron acusados por el miliamperímetro MAI de la figura 122. Vemos que la intensidad de la corriente aumenta casi bruscamente y eso se debe al hecho de que la grilla está muy próxima al filamento, de manera que basta un pequeño potencial positivo para atraer una enorme cantidad de electrones.

Dichas curvas ya han sido trazadas para una diferencia de potencial de 90 Volts entre la placa y el filamento. Si en lugar de utilizar un voltaje de 90 Volts se aplica para la experiencia uno de 45 Volts, se obtendría para las mismas variaciones de voltaje de grilla de fig. 122 y que es la que indica con líneas de raya y punto la figura 125. Si en lugar de realizar la experiencia de la figura 122 con 90 ó 45 Volts se hiciese con una de 135 Volts, la curva que se obtendría es la indicada con línea de puntos.

De este modo obtendremos tres curvas distintas trazadas de la misma manera, es decir, utilizando las mismas variaciones de voltaje de grilla y variando para cada curva el voltaje de placa. Estas curvas reciben el nombre de **Familia de Curvas de Características de Grilla**.

Estas tienen su importancia porque se puede saber cuál es el punto que más conviene trabajar a dicha válvula para obtener el máximo de rendimiento sin deteriorarlas.

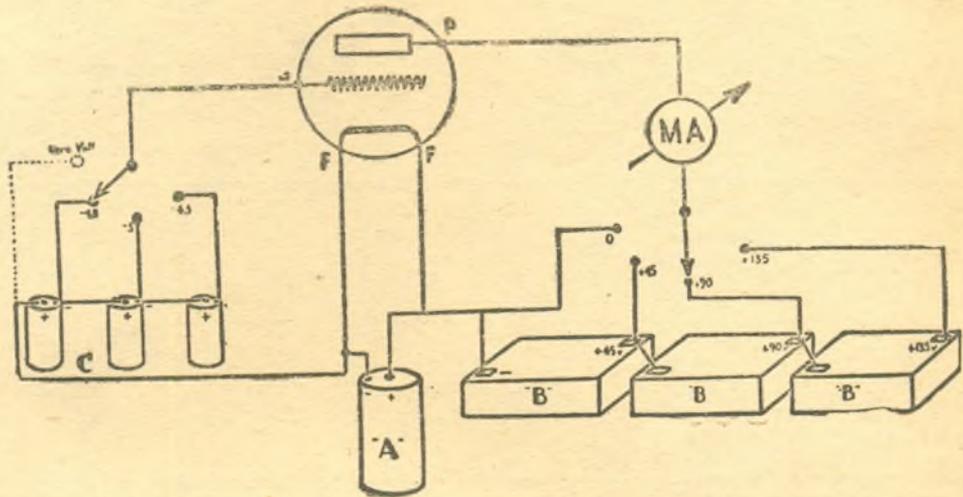


Fig. 126

Las Curvas Características de Placa se obtienen de la siguiente manera: Se mantiene fijo el potencial de grilla, se varían los voltajes de placa y se anotan los valores de corriente; en efecto, veamos la figura 126.

Tenemos la misma válvula de la experiencia anterior con una llave en el circuito de grilla de tres toques que conecta en cada uno de ellos tres distintos potenciales negativos con el fin de trazar tres curvas, una para cada potencial de grilla y variando el voltaje de placa de cero a un máximo. Esta variación de voltaje de placa se hace con ayuda de otra llave selectora que conecta a cero; + 45 V.; a + 90 V.; y + 135 V. respectivamente, de manera que según el toque que haga contacto, la llave conectará un potencial positivo determinado con respecto al negativo de dicha batería.

Si conectamos la llave selectora en el toque de -1,5 Volt (grilla) y variamos el voltaje de placa de cero a un máximo, la intensidad de la corriente también variará de cero a un máximo como puede verse en la curva $E_g = -1,5$ V de la figura 127. ¿Cómo se ha trazado dicha curva? Dijimos antes, que si aplicamos a la grilla un potencial de -1,5 Volt respecto al filamento y variando el voltaje de placa de cero a + 135 Volts, leemos distintas intensidades en el miliamperímetro. Pues bien; cuando conectamos el selector de placa en cero, la intensidad de la corriente de placa es cero. Si conectamos + 45 Volts, ¿la corriente de placa cuánto será? Si las curvas trazadas en la figura 125 son correctas, el lector podría fijarse en ellas e inmediatamente podría decir el valor. En efecto. Veamos la figura 125, en la curva de punto y raya y que precisamente fué trazada con un voltaje de 45 Volts en placa. Pues bien; ¿qué intensidad de corriente de placa ha circulado por el circuito cuando el voltaje de grilla era -1,5 Volt? Si nos fijamos vemos que para -1,5 Volt le corresponde una corriente de 0,25 M.A. Dicha intensidad es precisamente la que nos indica el miliamperímetro de la figura 126. Ahora conectamos la llave selectora de placa en el punto 90 Volts. ¿Qué corriente indicará el miliamperímetro? Pues si volvemos a la figura 125 veremos que

la curva trazada con 90 Volts nos da para una tensión negativa de $-1,5$ Volt una intensidad de 2 M. A. que es precisamente lo que indica el miliamperímetro. Llevemos este otro valor a la figura 127 lo mismo que el valor ante-

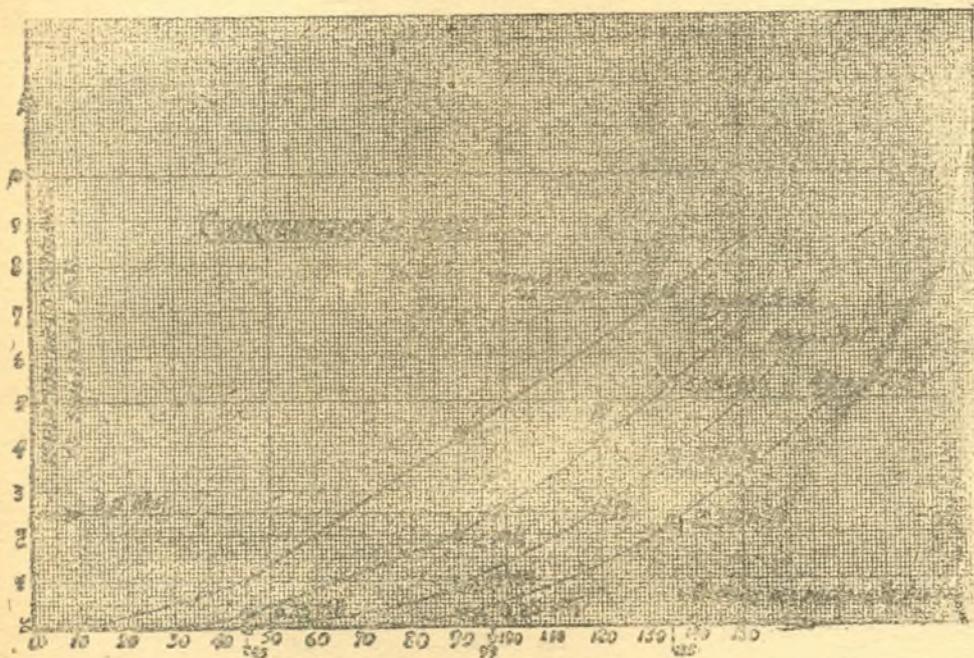


Fig. 127

rior. Si conectamos al tope de $+$ de 135 Volt, podremos adelantar observando la figura 125 que la intensidad para $+$ 135 Volts en placa y $-1,5$ en grilla que indicará el miliamperímetro será de 5,35 M. A. y que, llevado a la fig. 127, nos pondrá en condiciones de trazar una curva que nos indicará qué variación de corriente de placa le corresponderá al circuito de placa cuando se varían los voltajes que le aplican, manteniendo fijo el potencial de la grilla. Es decir, que hemos trazado una curva que nos da la característica de placa de la lámpara cuando tiene una "polarización" de $-1,5$ V.

Una vez trazada la curva, el lector verá (figura 127), que la intensidad de la corriente de placa comenzará más o menos cuando la placa tenga un voltaje positivo de unos 30 Volts. Cuando la grilla está a $-1,5$ Volt. Conectemos ahora el circuito de grilla de la figura 126 al tope de -3 Volt y repitamos el experimento de la experiencia anterior. En la posición "O" de la llave de placa, la corriente es cero; en la posición de $+ 45$ V. (figura 126) y a una tensión de grilla de -3 V.; la corriente de placa es aparentemente cero.

Llevemos este valor a la figura 127. Pasemos la llave a $+ 90$ Volts, la corriente de placa (figura 125) es 0,85 M. A. Pasemos este valor a la figura 127. Conectemos ahora a $+ 135$ V.; la corriente de placa será (figura 125), 3,7 M. A., llevemos este valor a la figura 127. (Curva $E_g = -3$ V.).

Si repetimos esta misma experiencia para cuando conectamos al tope de grilla de $-4,5$ V., obtendremos otra curva que corresponde a la característica de placa para $-4,5$ Volt de polarización de la grilla. (El lector podrá razonar solo y trazar la curva correspondiente). (Curva $E_g = -4,5$ V.).

Además, se puede trazar una curva semejante para el caso en que la grilla estuviese a un potencial cero, respecto al filamento; en ese caso se procede de la misma manera que los anteriores; la curva de $+ 45$ (fig. 127) corta al eje de intensidades en un punto de 1 M. A. (o sea en el caso que

la placa de la figura 125 esté a + 45 volt). Llevado este valor a la figura 127, se tiene un punto de la curva. Si se conecta la placa a + 90 V. la curva (figura 125) corta al eje de intensidades para cuando la grilla está a cero; respecto al filamento, en 4,25 M. A. y que es lo que el miliamperímetro indicará y que llevado dicho valor a la figura 127, tendremos otro punto de la curva. Para + 135 tendremos una intensidad de la corriente de placa para un potencial de grilla de cero Volt de 7,4 M. A. y así tendremos otro punto de la curva de cero Volt de rejilla.

Las curvas así obtenidas, reciben el nombre de **Familia de Curvas Características de Placa**.

Como resultado de lo explicado para las experiencias de la figura 122 y 126, el lector se dará cuenta que la corriente de placa puede variarse tanto variando potenciales de grilla como de placa.

Creemos innecesario decir que la técnica de las válvulas está encerrada dentro de todo lo que vimos hasta ahora, pues estos conocimientos nos permitirán calcular de una manera rápida los tres factores más importantes de las Válvulas de Radio, que son: Resistencias internas o Resistencias de Placa, Factor de Amplificación y Conductancia Mutua o Transconductancia y que veremos en seguida cómo se calculan ayudados por las curvas características estudiadas.

RESISTENCIA INTERNA

La resistencia interna de una válvula de Radio, o, mejor dicho, Resistencia de Placa, nos da una idea de la "resistencia" que queda intercalada entre el filamento y la placa, por cuando la válvula trabaja en condiciones óptimas.

Dicha Resistencia de Placa, que se abrevia "Rp", se define de la siguiente manera:

"Para un cambio en el voltaje de placa corresponde un cambio en la intensidad de la corriente de placa". Si los lectores recuerdan la fórmula de Ohm, sabrán que si dividimos el voltaje por la intensidad (amperes), obtendremos el valor de la resistencia. Pues bien; en el caso de las válvulas, no podemos tomar el valor de un voltaje y una intensidad que le corresponde a un punto de funcionamiento sino que, como en la práctica el valor de la intensidad no se mantiene constante debido a que la tensión de grilla varía también (como veremos más tarde).

De manera que tendremos que tomar en cuenta variaciones de intensidad de corriente de placa que le corresponderán a otras tantas diferencias de voltaje de placa, como veremos en seguida. Supongamos el punto A de la figura 127. Consideremos que la lámpara cuya resistencia Interna queremos calcular, esté trabajando en dicho punto, pero sin ninguna señal, o sea con un potencial negativo de grilla de -3 Volts; con un potencial en placa de 120 Volts, y una corriente de placa de 2,5 M. A. Supongamos que dicha válvula está en funcionamiento, es decir, que recibe señales que son aplicadas a la grilla. Dicha señal hace que el potencial de grilla varíe de -3 Volts a -1,5 Volt, de manera que si esto sucede el punto A de la figura 127 se desplazará a la curva de -1,5 Volt, o sea el punto B. Dicho punto se desplaza arriba porque el voltaje de placa sigue siendo 120 Volts. Pero ¿qué es lo que sucedió con la intensidad de la corriente de placa? Si el voltaje de grilla ha variado de -3 Volts a -1,5 Volts, es decir, que ha disminuído, resulta que la intensidad de la corriente de placa aumentará, y como el voltaje de placa se mantiene en 120 Volts, resulta que la corriente variará de 2,5 M. A. que era cuando la grilla estaba a -3 Volts a 4,1 M. A., para cuando dicho potencial varió a -1,5 Volt. Pues bien: si quisiéramos saber qué variación de voltaje le correspondería a la batería de placa para hacer que la corriente de placa vuelva a su valor primitivo, o sea 2,5 M. A., pero con

el potencial de grilla nuevo, o sea de $-1,5$ V., tendríamos que, siguiendo a la curva de $-1,5$ V., hasta que corte a la altura que corresponde a $2,5$ M. A. y que puede verse en figura 127 sería el punto C. Si por dicho punto trazamos una vertical para abajo, dicha vertical cortará al eje de voltajes de placa en el punto D o sea el que corresponde a 97 Volts. Este resultado está de acuerdo a lo que explicamos anteriormente y confirma, que cuando se reduce el voltaje de placa, también se reduce la intensidad de la corriente de la misma. Pero este experimento nos dice algo más que eso. Esto indica que si en dicha válvula el voltaje negativo de grilla varía en $-1,5$ V. ($3-1,5$), la intensidad de la corriente de placa varía en $1,6$ M. A. ($4,1-2,5$); por lo tanto, para llevar a la válvula al punto de funcionamiento original, habrá que variar al voltaje de placa en 23 Volts (en nuestro caso reducir el voltaje). Dijimos que la Resistencia de Placa (R_p) de una lámpara, se obtenía de dividir la variación de voltaje de placa por la variación de la intensidad de la corriente de placa: pues bien, en nuestro ejemplo, el valor de R_p será, si aplicamos la fórmula 42:

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \dots\dots\dots (42)$$

en la cual R_p es la resistencia de placa buscada; ΔE_p es la variación del voltaje de placa (*) y se mide en Volts; ΔI_p es la variación de la intensidad de la corriente de placa y se mide en Amperes (1 miliamper se escribe $0,001$ Amp.), de manera que el resultado estaría dado en Ohms.

En nuestro ejemplo, $\Delta E_p = 23$ Volts. y $\Delta I_p = 1,16$ m. A. ($0,0016$ Amperes), de manera que sustituyendo dichos valores en la fórmula 42, obtendremos el valor de la resistencia de placa buscada.

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} = \frac{23}{0,0016} = 14375 \Omega$$

Es decir, que la Resistencia de Placa de la Válvula es de 14375Ω .

El lector podría practicar con la fórmula fijando supuestos puntos de funcionamiento sobre curvas de la figura 127 y repetir el raciocinio (1).

FACTOR DE AMPLIFICACION

El factor de amplificación da una idea de cuál es la relación de variación del voltaje de placa para una variación del voltaje de grilla. Este factor es muy importante, porque se puede demostrar, que si a la válvula del ejemplo anterior se le aplica una variación de voltaje de $-1,5$ V., resulta que en el circuito de placa se produjo una variación de 23 Volts. A este fenómeno se le llama "Amplificación" y quiere decir que a una válvula de radio, si se le aplica un voltaje variable de $1,5$ Volt, se lo podrá amplificar a tal magnitud, hasta alcanzar un valor de 23 Volts. (¿No es esto maravilloso?). Pues bien; como el factor de Amplificación (μ) es la relación de variación entre los voltajes de placa y grilla, podremos escribir:

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} \dots\dots\dots (43)$$

(*) La letra griega Δ (delta) que precede a E_p e I_p , indica "variación"; por esta razón no se escribe solamente E_p e I_p .

(1) La Editorial "Revista Telegráfica" ha publicado el Manual de Válvulas de Recepción R.C.A., que contiene la descripción de un gran número de válvulas y cuyo cálculo podría ser constatado de acuerdo al procedimiento explicado.

Por lo tanto, para el caso de nuestro ejemplo tendremos:

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} = \frac{23}{1,5} = 15,33$$

es decir, que el factor de Amplificación $\mu = 15,33$ y esto, significa que si a la grilla se le aplican potenciales que varían en 1 Volt, el voltaje de placa variará en 15,33 Volt. Si a dicha válvula se le aplica una señal de broadcasting muy débil, podremos escucharla amplificada 15,33 veces.

CONDUCTANCIA MUTUA O TRANSCONDUCTANCIA

Una de las características más importantes de una válvula es el conocimiento del valor de la Conductancia Mutua, sobre todo para determinados trabajos en los cuales se trabaja con grandes señales de entrada.

La relación que da el valor de la Conductancia Mutua, resulta de dividir la variación de la intensidad de la corriente de placa por la variación del voltaje de grilla que ha provocado la variación de la corriente de placa.

En nuestro caso la corriente de placa, había variado en 1,6 M. A., para un cambio de 1,5 Volt en el potencial de grilla, de manera que si la fórmula que da la Conductancia Mutua (G_m) se escribe:

$$G_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} = \dots\dots\dots (44)$$

donde G_m es la conductancia mutua en (\mathfrak{U}); ΔI_p la variación de la corriente de placa en Amperes para una variación ΔE_g del voltaje de grilla en Volts.

Como ya habíamos visto en lecciones anteriores, la conductancia se mide en Mhos de manera que en este caso debemos usar la misma unidad y sobre todo, si observamos que dividimos una intensidad por un voltaje.

Pues bien; cuando dividimos un voltaje por una intensidad (Ley de Ohm) el resultado es una resistencia; por lo tanto, si hacemos la inversa (dividir una intensidad por un voltaje) el resultado será una conductancia:

$$G_m = \frac{\Delta E_g}{\Delta I_p} = \frac{0,0016}{1,5} = 0,001066 \text{ Mhos } \mathfrak{U}$$

Por comodidad, cuando se trata de Conductancias Mutuas de Válvulas, se emplea como Unidad un Submúltiplo del Mho, que es el Micromho (0,000001 \mathfrak{U}) y que se escribe 1 $\mu\mathfrak{U}$ en nuestro caso tenemos 0,001066 \mathfrak{U} de manera que podremos escribir 1066 $\mu\mathfrak{U}$, y que se obtiene de multiplicar 0,001066 \times 1000000. En todos los resultados de Conductancia Mutua se multiplicará por un millón y se obtendrá el resultado en Micromhos ($\mu\mathfrak{U}$).

Como resumen, hemos obtenido, gracias al conocimiento de las curvas de una válvula sus características, o sea:

Resistencia de Placa (R_p) = 14375 Ω .

Factor de Amplificación (μ) = 15,33.

Conductancias Mutuas (G_m) = 1066 $\mu\mathfrak{U}$.

31a. LECCION

Detección.- Teoría de la Detección

Detección es el fenómeno que nos permite transformar señales radioeléctricas (inaudibles) en señales acústicas.

Veamos cómo se realiza dicho fenómeno.

Recordemos las experiencias realizadas en la Lección 20a. En dichas experiencias se comprobó que un campo magnético variable, era capaz de inducir una f.e.m. en cualquier conductor expuesto a dicho campo magnético. Por otra parte, se explicó también que era posible inducir una f.e.m. mayor cuanto mayor sea la frecuencia con que varía el campo inductor. Por esta razón, las estaciones de Broadcasting generan campos magnéticos variables a frecuencias tan elevadas (alta frecuencia) que es imposible captarlas con un par de teléfonos como lo habíamos hecho en la Lección 20a. Veamos cómo representamos una f.e.m. inducida de alta frecuencia (figura 128). Supongamos que una estación determinada es-

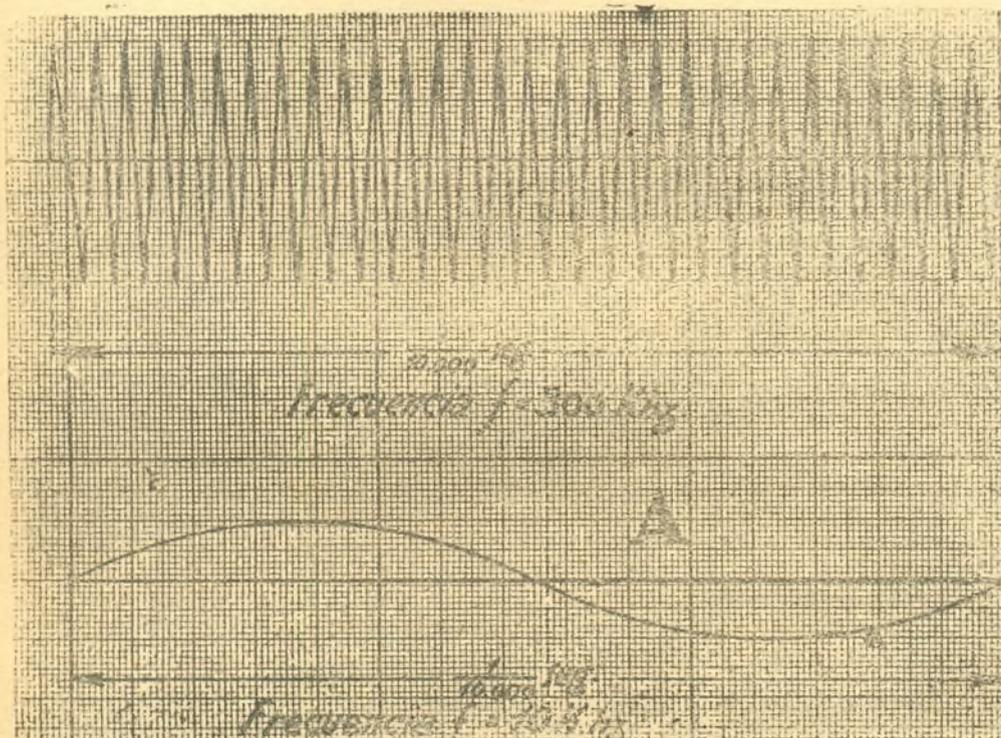


Fig. 128

té generando un campo magnético variable de 300 Khz. (300.000 Ciclos/seg.). Si dicho campo magnético es provocado por una corriente de alta frecuencia de forma sinusoidal, el campo magnético variable será también de esta forma. Si observamos la figura 128, se verán representados 30 ciclos enteros y que corresponderían a las variaciones en un diez milésimo de segundo, puesto que en un segundo se producen 300.000 variaciones. La frecuencia de vibración más elevada que puede imprimir en nuestros oídos, es de 15.000 ciclos por segundo y recordemos que el sonido cuya frecuencia es la más elevada

es producida por un instrumento musical que se llama Piccolo, conocido entre nosotros por flautín y que puede alcanzar a producir sonidos de cerca

1

5000 ciclos por segundo. Las vibraciones que le corresponderían a $\frac{1}{10.000}$ de segundo para 5000 ciclos/seg., serían de 0,5 ciclos y para una frecuencia de 15000 Hertz, sería de 1,5 ciclos que es el límite.

De aquí sacamos como conclusión que, si el límite de sensibilidad del oído para las vibraciones acústicas es de 1,5 ciclos por cada diez milésimos de segundo, sería imposible que el oído sea incapaz de notar la presencia de un sonido producido por 30 ciclos por cada diez milésimos de segundo. De manera que, si tenemos un detector radiotelefónico que esté en condiciones de resonar a la frecuencia aludida de 300 Khz., no notaremos en los teléfonos ninguna señal.

Estudios realizados primeramente por el sabio inglés Oliver Lodge y creador de la sintonización tal como la conocemos nosotros, consiguió en el año 1894 transmitir señales Morse utilizando las corrientes de altas frecuencias. La detección se realizó utilizando un cohesor (*) y un galvanómetro, de manera que para cada impulso dado por el manipulador del transmisor, éste producía un campo magnético variable que duraba el tiempo del impulso dado al manipulador. El detector rectificaba la corriente inducida en su circuito, de manera que el galvanómetro indicaba la corriente y que se interrumpía cuando cesaba el campo magnético variable del transmisor. Si de esa manera se imprimían al manipulador los signos Morse, el galvanómetro indicaba en sus oscilaciones la forma que correspondían a los signos. Estos experimentos fueron empezados por Hertz, que murió antes de ver terminada su obra. Fué Guillermo Marconi a quien cupo la gloria de llegar a una solución práctica en dichos experimentos.

El físico que dió el primer impulso a la Radiotelefonía fué Reginal Fressenden, estadounidense de origen, que en el año 1906 consiguió hacer una demostración en público de las posibilidades de transmitir por medio de Ondas Hertzianas (alta frecuencia) la palabra y aún la música.

Dicho experimentador, después de largos estudios, llegó a la conclusión de que podía a una corriente de alta frecuencia superponerle una de baja frecuencia, de manera tal que el campo variable generado por éste, seguiría la forma de ambas actuando la de alta frecuencia como "portadora" de la de baja frecuencia. En efecto, si el gráfico de la figura 128, corresponde a la forma de la corriente de alta frecuencia que produce el campo magnético variable y le superponemos una corriente variable que corresponde a las variaciones de un sonido de 10.000 ciclos por segundo (128A), la figura 128 se transformará en la 129. Los lectores observarán que la corriente de baja frecuencia se superpuso sobre la de alta frecuencia, de tal manera que la forma de onda de baja frecuencia quedó impresa sobre las de alta frecuencia, actuando éstas de envolventes. El lector notará además de las variaciones de baja frecuencia actúan sobre la amplitud, ya aumentándolas o ya disminuyéndolas. Lo importante para el estudio de la detección es el conocimiento de que el campo magnético variable generado por una corriente de alta frecuencia actuará como "portadora" de la variación de baja frecuencia. Queda entonces constancia de que el campo magnético variable tendrá la forma de la figura 129, sea cualquiera la frecuencia de la estación emisora y cualquiera el sonido o combinación de sonidos (palabra y música). Si el fenómeno de imprimir a la portadora, Modulación (sonidos, palabra, etc.), cuando detectamos dicha portadora, haremos el caso inverso, por eso al fenómeno de la detección lo llamamos "Demodulación".

(*) El cohesor desempeñaba el rol que más tarde correspondió a la galena.

Para estar en condiciones de demodular con un detector, éste debe eliminar de la corriente de alta frecuencia inducida a la antena del receptor, los semiciclos negativos, pues de esta manera quedaría impresa en el circuito una corriente que variará con los impulsos que corresponden a los semiciclos positivos. Si volvemos a la figura 129, veremos que en las amplitudes de los semiciclos está impresa la forma de la corriente de baja frecuencia que había sido superpuesta.

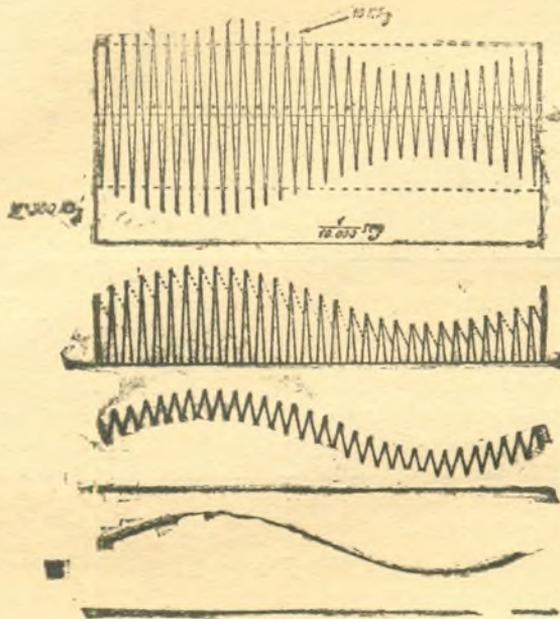


Fig. 129

Veamos entonces cómo podremos detectar señales radiotelefónicas con el circuito de la figura 120 y que fué utilizado por Fleming.

Si suponemos que el circuito L y C , para una posición del condensador variable, éste entra en resonancia a una frecuencia como el dado en el ejemplo de la figura 129. De manera que si en un instante determinado, la placa se encuentra un potencial positivo, el condensador C_1 se cargará hasta un máximo cuando el semiciclo positivo alcanza la amplitud máxima, de manera que cuando la placa de la válvula se hace negativa, la corriente cesa en el circuito; entonces el condensador C_1 se descarga a través de los teléfonos.

Si este fenómeno se repite durante un tiempo tal que haya transcurrido un diezmilésimo de segundo, la membrana del teléfono sufrirá una atracción debido a la magnetización producida por la corriente detectada y de la forma de onda de 10 Khz., de manera que si este fenómeno transcurre durante un tiempo, se percibirá en los teléfonos un sonido muy agudo que corresponde a los 10.000 ciclos por segundo. Gráficamente se ve en la figura 129, el proceso de la demodulación: en A, los impulsos positivos impresos en la placa de la válvula; en B, las variaciones de amplitud que sufre la f.e.m. Se puede ver que la carga del condensador C_1 ha hecho que parte de la energía almacenada se descargue lentamente y dicha descarga no es completa debido a que cuando entrega cierta energía al circuito, el próximo impulso del semiciclo positivo, lo ha cargado nuevamente.

En C se ve cómo es la corriente media que atraviesa por el teléfono y es la que corresponde a la baja frecuencia que como puede observarse ade-

más se ha eliminado completamente la componente de alta frecuencia y ha quedado impresa la frecuencia original. Este es el proceso de la demodulación. Lo más interesante de este fenómeno es que tanto la corriente de alta frecuencia como de baja frecuencia deben retomar al mismo punto de potencial cero (tierra), pero lo hacen por caminos distintos. Sabemos que un condensador ofrece una reactancia muy pequeña para corrientes de alta frecuencia; en cambio es muy elevada para bajas frecuencias. La inductancia del bobinado de los teléfonos, en cambio, ofrecerá una reactancia muy elevada a las corrientes de alta frecuencia y una reducida reactancia a las corrientes de baja frecuencia; por esta razón conviene calcular convenientemente, el valor del condensador a fin de ofrecer una reactancia baja a las corrientes de alta frecuencia y a la vez una reactancia muy elevada a las bajas frecuencias a fin de que la corriente de baja frecuencia esté obligada a pasar por el bobinado de los teléfonos. Por esta razón, el valor del condensador debe ser tal que su reactancia sea muy elevada a las corrientes de baja frecuencia, pues éstas nos interesa que pasen a través del teléfono. En general, es peligroso que corrientes de alta frecuencia circulen por el bobinado del teléfono, pues éste se transforma íntegramente en calor. Como el bobinado de los teléfonos es de alambre muy fino, resulta que se calentará y en ciertas ocasiones llegará a dañarlos.

Creo que no es necesario explicar cómo trabaja un detector a galena, si recordamos que la galena hace el oficio de un diodo y por lo tanto permitirá el pasaje de corriente a través de él, durante el semiciclo positivo. En la práctica, el valor óptimo para C_1 oscila entre 0,00025 a 0,0005 μf (*).

RECEPTOR DE UNA VALVULA UTILIZANDO UN TRIODO

En la figura 130, puede verse el diagrama de un sencillo receptor a válvula cuyo funcionamiento estudiaremos enseguida.

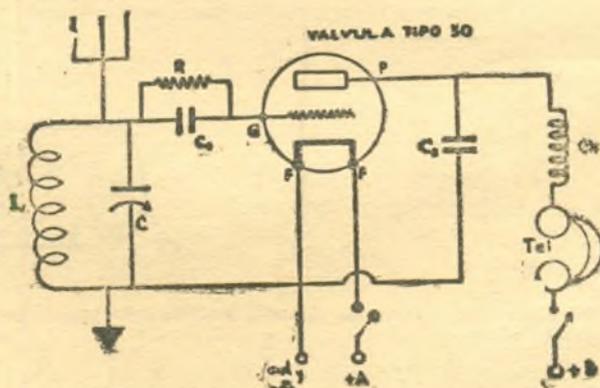


Fig 130

Dicho sistema es conocido con el nombre de detección por condensador y resistencia de grilla y muy popularizado. La resistencia, como veremos en seguida, actúa como "escape" de corriente.

Vemos en la figura 130, que la grilla está conectada a través de R y de L, al punto en que está conectado el negativo de la batería de filamento y el negativo de la batería de placa, de manera que podríamos decir que la grilla está polarizada a un voltaje cero con respecto al filamento.

(*) Más tarde veremos, para el caso de un diseño completo, cómo se calculan dichas capacidades.

Si el circuito L y C está en resonancia con alguna estación de broadcasting, los semiciclos positivos de la f.e.m. inducida, polarizará positivamente la grilla provocando por el circuito de grilla y a través de la resistencia R y filamento una corriente de la misma manera como en el caso detector a diodo de la figura 120. Cuando los impulsos positivos de la corriente de alta frecuencia se hacen presentes, el condensador C_1 se carga. Cuando la corriente cesa debido a que se ha invertido la dirección de la f.e.m., el condensador entrega su carga al circuito a través de la resistencia R que actúa de carga (teléfonos si se quiere). Este proceso se produce para cada ciclo de la f.e.m. de alta frecuencia. Como la amplitud de los impulsos positivos varían de acuerdo a la figura 129, se ve que evidentemente la grilla y el filamento trabajan como un diodo. Como la carga y descarga del condensador C_1 varía de magnitud de acuerdo a la amplitud que en cada momento adquieren los semiciclos positivos, resulta que la grilla varía de potencial de acuerdo a las variaciones que se ven en la figura 129 B.

Como la placa está polarizada positivamente para cada variación del potencial de grilla, hace que la corriente de placa varíe también, de manera que si intercalamos en el circuito de la placa un par de teléfonos, esas variaciones de corriente harán vibrar la membrana de los teléfonos, dando origen al sonido (música-palabra) propalado por las Broadcastings. El lector se dará cuenta de que si los potenciales de grilla varían, esa variación queda impresa en los teléfonos del circuito de placa, de manera que si recordamos la relación vista en la lección anterior, vemos que se han producido en la misma lámpara dos fenómenos: detección y amplificación, pues si por un medio cualquiera medimos la variación del voltaje de la grilla y el que ha provocado entre los extremos del teléfonos, veremos que la relación es mayor que la unidad, por lo cual existe amplificación. La inductancia "Ch" llamada bobina de "Choque", ofrece una reactancia muy elevada al pasaje de la corriente de alta frecuencia, de manera que evita que éste llegue hasta los teléfonos; por lo tanto se debe calcular convenientemente, de manera que no "frene" las frecuencias audibles y que son las que queremos escu-

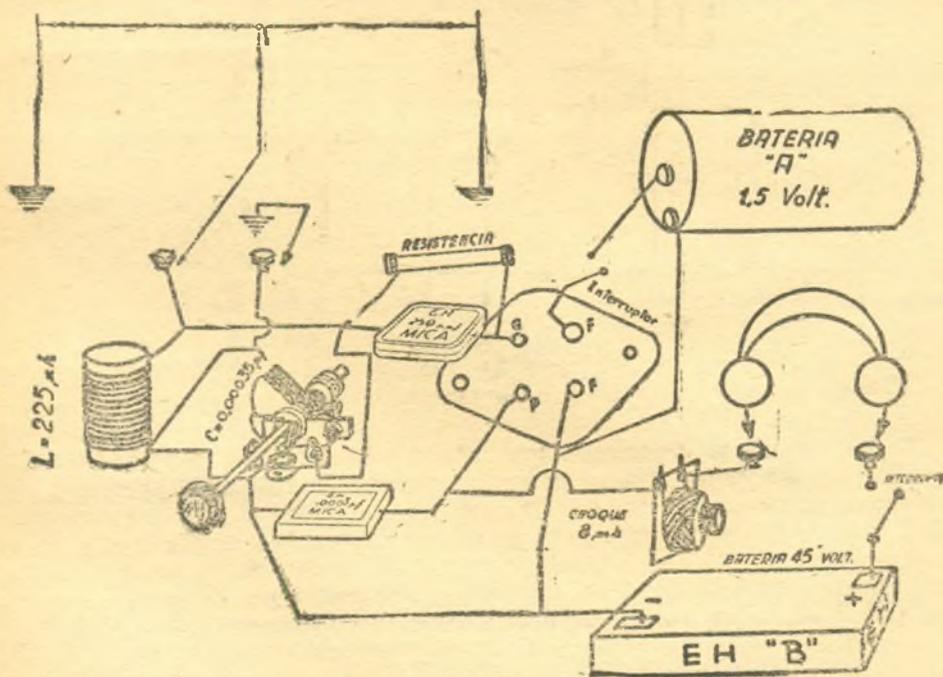


Fig. 131. — Nota: El zócalo es de cuatro patas y está visto de abajo. Las dos patitas gruesas corresponden al filamento.

char. En la práctica, un valor alrededor de 8 Milihenrios es bastante bueno para ese fin.

El condensador C_2 , está conectado entre la placa y el filamento que está conectado a tierra para evitar que la corriente de alta frecuencia que no puede retornar a través de los teléfonos lo haga en sentido contrario, lo que provocaría inconvenientes en la recepción; para evitar esto, se conecta en el condensador C_2 , cuya reactancia capacitativa es muy baja para las corrientes de alta frecuencia y alta reactancia para bajas frecuencias. Para lo cual conviene calcularlo convenientemente. En la práctica se emplea un valor de $0,0005 \mu f$ y R puede ser de $1.000.000 \Omega$.

En la figura 131, damos la distribución de todos los elementos y conexiones a fin de que el lector pueda armar y experimentar con dicho receptor de una válvula que hemos descripto.

En próximas lecciones veremos detectores de tipo y diseño más modernos y cómo puede interpretarse gráficamente el funcionamiento de la detectora.

32a. LECCION

Amplificación de baja y alta frecuencia

En la Lección 30a. vimos cuál era el proceso de la amplificación. Pero en estos casos no se trata de eliminar la semionda negativa, como en el caso de la detección, sino que debemos de amplificar toda la onda completa y

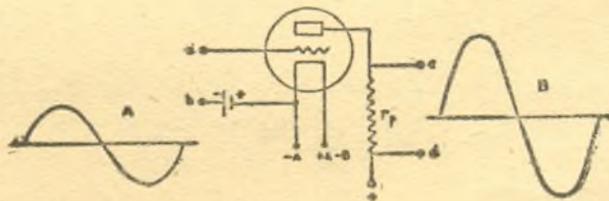


Fig. 132

evitar por todos los medios que ésta se deforme. Veamos la figura 132. En A se ve la forma de onda que corresponde a un potencial de corriente alterada aplicada entre la grilla y filamento, y en B, la que corresponde a la tensión amplificada por la válvula. Vemos que la longitud de onda y forma es idéntica, con excepción de que ha aumentado la amplitud. El lector notará que del lado de la grilla se ha conectado un potencial fijo negativo. Pues bien; expliquemos la causa. Veamos la característica de grilla de una lámpara triodo trazada con 90 Volts en placa. Estudiemos dicha curva; en la parte inferior de ella es curva, de manera que si hacemos trabajar a dicha válvula en esa zona, va a resultar que las variaciones de corriente de placa no serán proporcionales a las variaciones del voltaje de grilla. En efecto, supongamos que a la grilla se le aplica un voltaje de corriente alterada como el de la figura 132, y cuyas amplitudes máximas positivas y negativas sean igual a 1 Volt. Si tomamos como un punto de trabajo el A. de la curva, de manera que la grilla sin señal deberá tener un potencial de -3 V. con respecto al filamento, de manera que la corriente de placa en ese instante es igual a 1 M. A. Apliquemos ahora la señal antes aludida y en el gráfico dibujemos la tensión aplicada en escala. Entonces veremos que el potencial de grilla varía de -4 Volts a -2 Volts, de manera que la reja trabajará entre los puntos B y C de la curva. Cuando la señal es de un vol-

taje igual a + 1 Volt, el potencial de grilla es en ese momento -2 Volts (punto C), de manera que la corriente de placa será 2,5 M. A. y cuando la señal alcanza para el otro semi-periodo, el valor máximo de -1 V. el potencial de grilla es igual a -4 V. (punto B), de manera que la corrien-

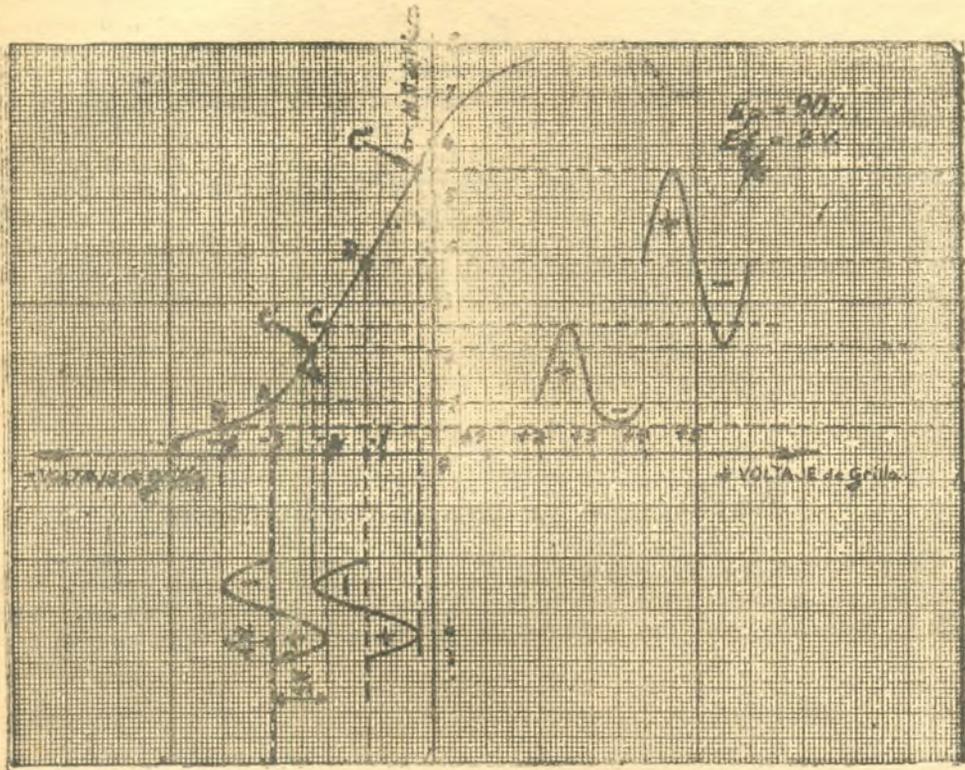


Fig. 138

te de placa, en ese momento es igual a 0,5 M. A. Como el lector puede ver, la variación de la corriente de placa no es proporcional a la variación del potencial de grilla, de manera que esto causará una deformación de la amplitud de la tensión amplificada; en efecto, si continuamos la construcción gráfica, tendremos representados la forma que tendrá la tensión amplificada. Tracemos rectas paralelas al eje horizontal por los puntos A, B y C. Donde A, será el eje de variación; C, será la amplitud máxima que alcanzará la corriente de placa en el semiciclo positivo amplificado, y B será la amplitud máxima que la corriente de placa alcanzará en el semiciclo negativo amplificado. Por lo cual verán que el semiciclo positivo es casi de las mismas características de las variaciones de potencial impresas a la grilla, pero el semiciclo negativo no solamente no tiene la misma forma, sino que la amplitud ha disminuído, de manera que no hubo tal amplificación. Esto nos enseña que no podemos hacer trabajar como amplificadora a una válvula que trabaje en la parte curva de su característica. Algo similar sucedería si quisiéramos trabajar en la parte superior de la curva de la característica de grilla de la válvula, con la diferencia de que en lugar de ser el semiciclo negativo, el deformado lo va a ser a' el semiciclo positivo y con la desventaja de estar trabajando con corrientes de placa muy intensas. Por lo que hemos dicho, sabemos ya que solamente conseguiremos hacer trabajar a una válvula como amplificadora, cuando ésta sea capaz de amplificar una señal cuya forma de onda aplicada al circuito de grilla produzca variaciones de la corriente de placa proporcionales, y esto solamente se podría con-

seguir si dicha válvula trabajase en la parte recta de las características de grilla (entre a y b de la curva). De manera que el punto de funcionamiento de la válvula sin señal en el caso de la válvula de la figura 133, estaría dado más o menos en el punto D, porque si se aplica un potencial de corriente alternada a la grilla, el punto de funcionamiento podrá recorrer distancias iguales, tanto de C' a D, como de D a C'', para variaciones de potencial iguales, de manera que como la corriente de placa también variará proporcionalmente resultará que el voltaje amplificado tendrá la misma forma de la impresa a la grilla de la lámpara.

Supongamos que el punto real de funcionamiento de la válvula sea el punto D, de manera que deberemos conectar al circuito de grilla un potencial fijo igual $-1,25$ V., que es la pila que se ve en la figura 132, la corriente de placa en ese punto es 3,8 M. A. Supongamos que aplicamos el mismo potencial de corriente alternada a la grilla del caso anterior; pues bien; repitamos la construcción gráfica que se hizo para el caso anterior y obtendremos los puntos C' y C'' de la curva, es decir, que cuando el semiciclo positivo alcanza al valor máximo, el punto de funcionamiento de la válvula es el punto C'' de la curva y en la cual la corriente de placa alcanza un valor de 5,5 M. A. Cuando la señal aplicada a la grilla alcanza el valor máximo para el semiciclo negativo, el punto de funcionamiento de la válvula está en el punto C' y cuya corriente de placa tiene un valor de 2,1 M. A.

Si el punto de reposo es el D, la corriente de placa es 3,8 M. A., de manera que el alumno verá que la diferencia en las intensidades de la corriente son exactamente las mismas, pues entre el punto C'' y D, existe una diferencia de $5,5 - 3,8 = 1,7$ M. A. y entre D y C' existe una diferencia de $3,8 - 2,1 = 1,7$ M. A. Perfectamente iguales. Esto quiere decir que dicha válvula, cuando trabaja como amplificadora, la corriente de placa varía en 1,7 M. A. cuando el potencial de grilla ha variado en un Volt.

Si trazamos paralelas al eje horizontal y que pasen por los puntos C', D y C'' de la curva, podremos construir la forma en que varía la corriente de placa que comparada a la variación original impresa a la grilla, veremos que es proporcional y que las amplitudes son mucho mayores, es decir, que efectivamente ha existido amplificación. Los puntos a y b de la curva serían los límites máximos a que dicha válvula podría trabajar correctamente como amplificadora. En efecto, la diferencia de potencial entre el punto D y a la corriente alternada que puede aplicarse a la grilla de esta válvula, es de $-1,25$ V. Si se llegara a sobrepasar dicho límite, se llegaría a una deformación en la forma de onda, lo que daría como resultado una reproducción deformada y falta de naturalidad, cuando esta amplificación se realiza con frecuencias audibles. Otra cosa que debemos notar, es que la reja trabaja en todo momento con potenciales negativos, de manera que no existe corriente en el circuito de ésta; por lo tanto, los potenciales de grilla, actúan como "polarizadores", es decir, que actúan como carga electrostática sin entregar energía; de ahí que se llame a la batería de grilla "C" batería de polarización. Es muy común que se use la palabra "Bias", que tiene el mismo significado en inglés y en castellano.

Lo explicado sirve tanto para el caso de amplificación de altas como para bajas frecuencias.

AMPLIFICACION DE TENSION

Para poder aprovechar las variaciones de la corriente de placa, se hace atravesar ésta por una carga que llamaremos "rp", que puede ser, en nuestro caso, una resistencia o una inductancia. De manera que al circular por dicha carga una corriente variable ésta producirá también caídas de

voltajes variables y que son precisamente los voltajes precisados, de manera que si las variaciones de corrientes de placa son proporcionales a las variaciones de los potenciales de grilla, las caídas de tensiones provocadas entre los extremos de las cargas del circuito de placa (entre c y d, fig. 132), también serán proporcionales a las aplicadas a la grilla. Por lo tanto, las caídas de tensiones sobre la carga de placa, serán de mayor magnitud que las aplicadas a la grilla. Por esta razón se dice que la señal ha sido amplificada, pues se ha producido una amplificación de tensión. Veamos la figura 134. En dicha figura, está representado un amplificador de voltaje. Veamos cómo

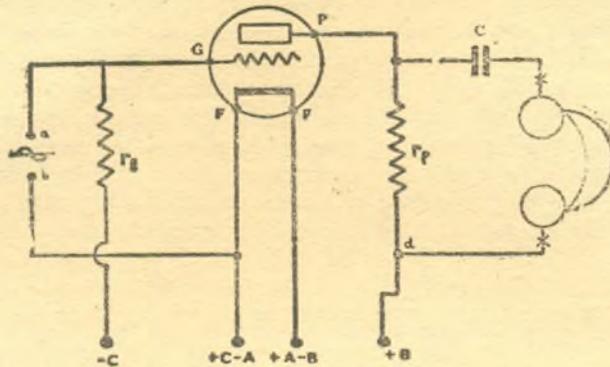


Fig. 134

trabaja. El circuito está alimentado (fuentes energía) por medio de batería de placa (B) cuyo negativo está conectado al positivo del filamento (+ A) y a un extremo del filamento y el positivo de la batería de placa (+ B) a la resistencia r_p que está conectada a la placa de la lámpara.

El negativo de la batería del filamento (-A) se conecta al otro extremo del filamento y junto con el positivo de la batería de polarización de grilla (+ C). El negativo de la batería de polarización (- C) se conecta a un extremo de la resistencia r_g , dado que el otro extremo de dicha resistencia está conectado a la grilla. Como ya dijimos que si la grilla está negativamente polarizada respecto al filamento por el circuito de grilla, no circulará la corriente, de manera que cualquiera sea el valor de r_g , el voltaje negativo aplicado al extremo -C de la resistencia deberá ser el mismo como si se aplicara directamente a la grilla. Veamos por qué: Si por dicha resistencia no circula ninguna intensidad de corriente, no habrá caída de voltaje entre sus extremos, de manera que si en un circuito no hay caída de voltaje habiéndose conectado una f.e.m. (la batería C), quiere decir que dicha resistencia r_g , actúa en ese circuito, por lo que a polarización se refiere, como si su resistencia fuese igual a cero.

Si aplicamos un voltaje (una señal) variable al circuito de grilla o sea en la entrada de una válvula, siendo el circuito de entrada los puntos "a" y "b", resultará que dicho voltaje variable hará variar el voltaje de polarización de la grilla, dando esto origen a que la intensidad de la corriente varíe de acuerdo a las variaciones del voltaje de polarización. Dichas variaciones de intensidad de corrientes, provocará en el circuito de placa (r_p) variaciones de voltaje que dependerán del valor de la intensidad de la corriente y de r_p . De manera que si conectamos un teléfono de radio, según se ve en la figura 134, en la cual un extremo de dicho teléfono se ha conectado a un condensador "C" por una de las armaduras y el otro extremo del teléfono se ha conectado al punto "d" de la resistencia r_p . De manera que la serie formada por el teléfono y el condensador está conectada en paralelo con la resistencia r_p . Si sobre dicha resistencia se producen variaciones de voltaje que siguen la forma de la señal aplicada al circuito, vemos clara-

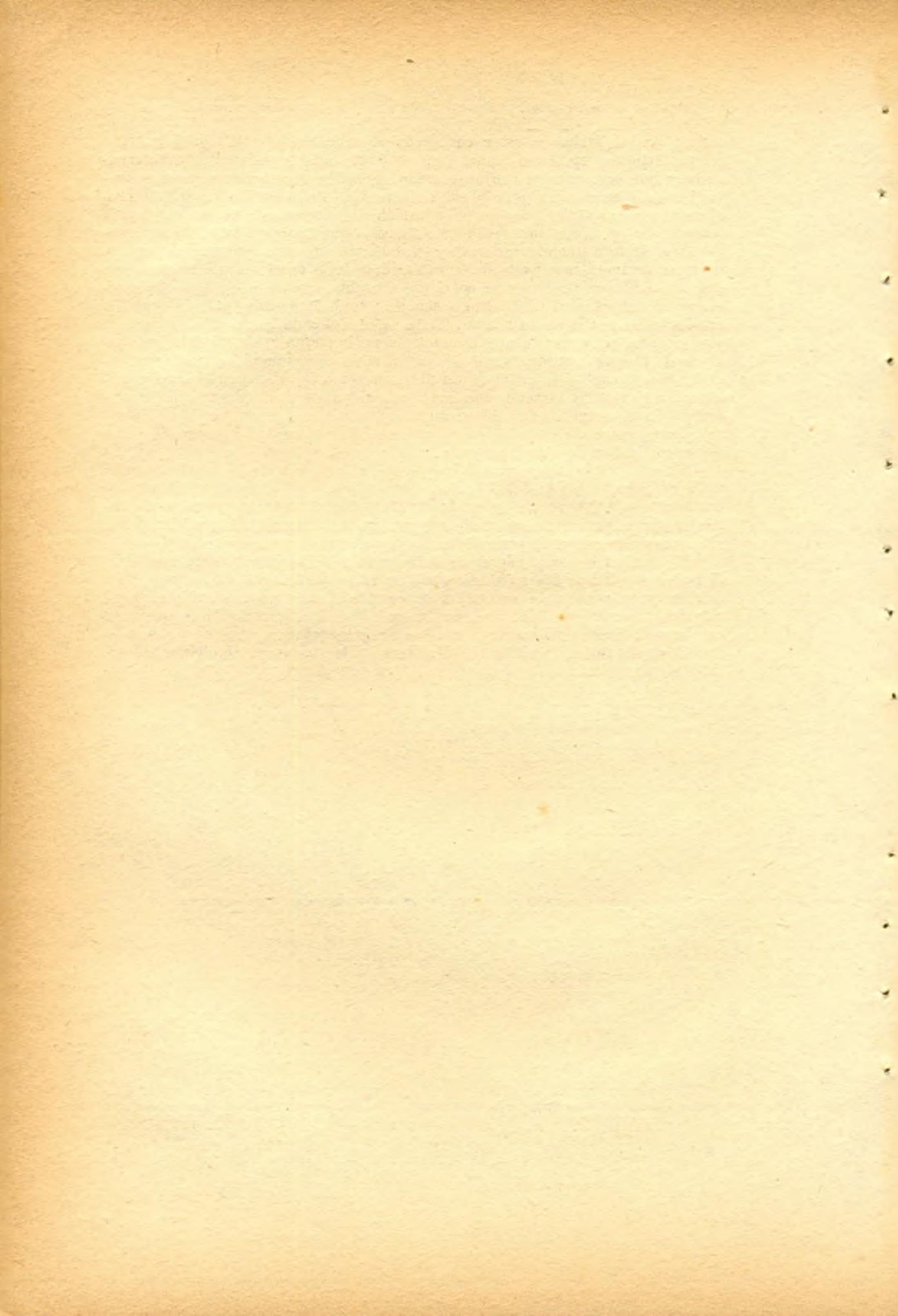
mente que el hecho de estar conectado el condensador "C" y el teléfono en paralelo con r_p , éstos tendrán en conjunto una impedancia Z_p determinada y que actuarán en conjunto como carga de placa. Entonces si r_p estuviese solo, en el circuito de placa, la intensidad de la corriente variable provocada por las variaciones de polarización del circuito de la grilla, pasaría íntegra por r_p . Pero como no está sola, sino que tiene en paralelo conectado otro circuito (condensador C y el teléfono) resulta que por dicho circuito se derivará una parte de la intensidad de la corriente, de manera que por los teléfonos pasaría una corriente variable, que si es de baja frecuencia se escuchará y si es de alta frecuencia sería imposible, pero la amplificación se ha realizado lo mismo. Si la señal aplicada es de alta frecuencia y modulada, proviene de una estación de radiotelefonía, en los teléfonos no oiremos ningún sonido, pero si en cambio conectamos los puntos marcados con "cruz" a la grilla de un detector como los vistos en la lección anterior, oiríamos la estación con más intensidad que si hubiese sido "captada" sin el amplificador descripto.

Entonces se dice que el amplificador de la figura 134 ha actuado como un amplificador de alta frecuencia.

Si, en cambio, dicho amplificador se hubiera conectado por los puntos "a" y "b" a la salida del detector, éste hubiera amplificado las señales detectadas (baja frecuencia) y en los teléfonos se escucharía el programa radiado por la broadcasting, pero con mucha más intensidad que si hubiese sido escuchado con el detector solo.

De aquí el lector puede sacar como conclusión la importancia que tiene el poder amplificar las señales cuando se trata de hacerlo con señales muy débiles para cuando la recepción se efectúe a una gran distancia de la estación transmisora. Veremos, en las próximas lecciones la forma cómo se emplean dichos amplificadores y cómo se construyen.

Por esta razón, también estudiaremos en las lecciones siguientes los tetodos y los pentodos por razones de orden pedagógico.



33a. LECCION

Electromagnetismo

Uno de los fenómenos más interesantes y de mayor aplicación en la Radiotécnica es quizás el electromagnetismo. Sus aplicaciones de una manera directa las tenemos en los altoparlantes, en los teléfonos, así como también en los instrumentos de medición.

Los primeros pasos del electromagnetismo los dimos ya en la lección cuarta del primer tomo de "CURSOS", donde dimos a conocer algunos fenómenos producidos por un conductor o un solenoide cuando era atravesado por una corriente continua. También vimos en la misma lección y en la quinta, los espectros magnéticos, los cuales nos indicaban la analogía entre un campo magnético generado por una corriente y por un imán.

EXPERIMENTO. — Supongamos una barra de hierro dulce de unos 15 cms. de largo por 1 cm. de diámetro. Sobre dicha barra se hallan bobinadas 100 espiras de alambre de cobre, aislado con doble capa de algodón de 1 milímetro de diámetro. Un extremo de la bobina se conecta al positivo de una pila y el otro extremo se conecta al negativo de la misma pila, pero interrumpido el circuito por el interruptor, a fin de poder cortar la corriente cuando sea necesario.

Esta disposición puede verse en la figura 135. Coloquemos la barra en

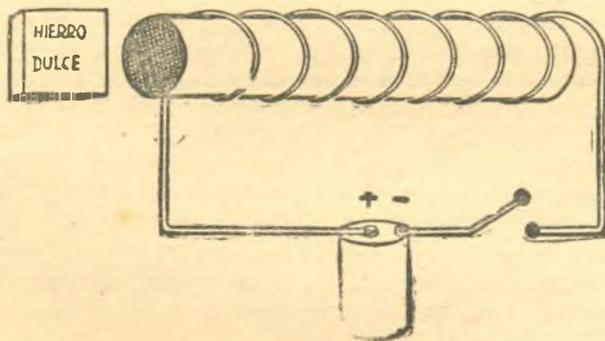


Fig. 135

las condiciones explicadas, sobre una mesa y enfrentemos la cara "A" con algún trozo de hierro de manera que estén separados uno del otro por un par de centímetros. Conectemos ahora el interruptor. En el mismo instante de haber conectado el interruptor notamos que el trozo de hierro dulce ha sido atraído por el electroimán improvisado. Si acercamos aún más el trozo de hierro a la cara "A" veremos que es atraído por el electroimán formado por la bobina del ejemplo, pero con mucha más fuerza. Luego de haber efectuado dicha experiencia hay que abrir el circuito por medio del interruptor para evitar que se desgaste la pila. ¿Qué conclusiones sacamos de la experiencia?

En primer lugar hemos construido un "aparato" de las mismas características de un imán. Además, vemos que es posible desarrollar una fuerza magnética tal que es posible aprovecharla con fines mecánicos.

Si sobre otro trozo de hierro dulce, en lugar de tener 100 espiras le bobinamos 200 espiras para la misma longitud y diámetro de hierro y alambre, estaremos en condiciones de realizar otra experiencia similar a la anterior.

Coloquemos todos los elementos como se explicó primero. Cuando el trozo de hierro dulce se ha colocado a dos centímetros del electroimán habremos notado que éste ha sido atraído de la misma manera que en el caso anterior. Lo mismo pasa con las otras pruebas. ¿Quiere esto decir que es lo mismo tener 200 ó 100 espiras en el electroimán? Tratemos de explicar esta pregunta. Si suponemos que la pila es capaz de producir en el circuito del electroimán una diferencia de voltaje de 1,5 Volt. Si el alambre es de un milímetro de diámetro, calculemos cuál es la resistencia que la corriente del circuito debe atravesar. Según la Tabla II, la resistencia del alambre de cobre de 1 mm. de diámetro y para un kilómetro de longitud es igual a 2,91 Ω por lo tanto, en nuestro caso debemos calcular la longitud de alambre utilizado para saber qué resistencia se ha intercalado. Tenemos que el diámetro de la barra de hierro es de 1 cm., de manera que cada vuelta de alambre tendrá aproximadamente: $\pi \times D = 3,14 \times 1 = 3,14$ centímetros; pero como tenemos 100 espiras, resultará que $3,14 \times 100 = 314$ centímetros sería la longitud del alambre de la bobina (3,14 mts.). Como un kilómetro de alambre tiene 2,91 Ω , resulta que un metro tendrá mil veces menos resis-

tencia; por lo tanto, tendremos para nuestro alambre $\frac{2,91}{1000} = 0,00291 \Omega$.

Como tenemos 3,14 mts., resulta que $0,00291 \times 3,14 = 0,00914 \Omega$.

Veamos ahora cuál es la corriente que atravesará la bobina (solenoides). Si $E = 1,5$ Volt, y $R = 0,00914 \Omega$ aplicando la ley de Ohm, tendremos:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{1,5}{0,00914} = 164 \text{ Amp.}$$

(No vayan a suponer los lectores que una pila común es capaz de entregar a un circuito una corriente de 164 Amp., pero en cambio podemos aceptar como cierto este valor para los fines de lo que estamos explicando. El lector podrá realizar esta misma experiencia, pero utilizando un alambre mucho más fino y un mayor número de vueltas).

Si tomamos ahora el segundo ejemplo y calculamos la resistencia de la misma manera como lo hicimos para el primer caso, resultará que el valor de la resistencia será exactamente el doble de la anterior, o sea 0,01828 Ω .

La intensidad de la corriente que atravesará la bobina será entonces de 1,5 Volt dividido por 0,00582, que es igual aproximadamente a 82 Amp. Por lo cual, el lector verá que la intensidad de la corriente es exactamente igual a la mitad del caso anterior.

Si analizamos todos estos cálculos detenidamente, llegaremos a lo siguiente: 1.º) para un número determinado de vueltas en el bobinado del electroimán, se consigue una fuerza de atracción determinada para una intensidad de corriente dada; 2.º) se logra la misma fuerza de atracción si se duplica el número de vueltas del electroimán y se reduce a la mitad la intensidad de la corriente.

La relación entre el número de vueltas y la intensidad de la corriente se cumple de una manera general y en la proporción del ejemplo, como veremos más tarde. Veamos cómo se expresa matemáticamente la fuerza de atracción a que nos hemos referido anteriormente. Si en el primer ejemplo donde teníamos 100 espiras hacemos pasar ahora una intensidad de corriente de 328 amperes, es decir, una intensidad doble de la del ejemplo mencionado, resultará que el trozo de hierro dulce enfrentado al electroimán será también atraído aun cuando la distancia que lo separa sea superior a 2 cms. De donde resulta que es posible aumentar la fuerza de atracción a condición de hacer

pasar por el bobinado del electroimán una intensidad de corriente mayor. Si continuáramos con la experiencia conseguiríamos producir el mismo efecto si en lugar de aumentar la intensidad de la corriente se aumentara el número de espiras; pero para que esto suceda es preciso reducir la resistencia óhmica del bobinado a medida que se aumenta el número de espiras. De todo esto se desprende que la fuerza de atracción producida por el electroimán es proporcional al número de espiras y a la intensidad de la corriente.

Dicha expresión se denomina amperes-vueltas y se escribe de la siguiente manera:

$$\text{Amperes-Vueltas} = N \times I \dots \dots \dots (45)$$

donde se ve que la fuerza de atracción depende de los amperes-vueltas que técnicamente se llama "fuerza magneto motriz", si se la multiplica por $0,4 \times \pi$. N es el número de espiras que contiene la bobina del electroimán, I es la intensidad de la corriente que la atraviesa. Al producto de $N \times I$ se lo denomina "amperes-vueltas".

Veamos cómo se emplea. Supongamos un electroimán cuya bobina está formada por 4.000 espiras y la corriente que lo atraviesa de 1 Ampere. Si dicho electroimán, por razones especiales, tuviese que trabajar en distintas condiciones, por ejemplo en un circuito tal que la intensidad de la corriente máxima sea 0,5 amperes; se desea saber cuántas espiras deberá tener la bobina del electroimán para que se desarrolle el mismo campo magnético que cuando trabaja con 1 Ampere, condición esta última necesaria para que el electroimán trabaje. Calculemos según la fórmula (45):

$$\text{Amp.-Vueltas} = N \times I = 4.000 \times 1 = 4.000 \text{ Amp.-Vueltas}$$

Si ahora necesitamos obtener el mismo valor para una intensidad de corriente de 0,5 Amp., resultará que habrá que aumentar el número de vueltas hasta alcanzar un valor tal que produzca el mismo efecto. Si escribimos $4.000 = N \times 0,5$ en donde N es precisamente el factor que nos dará el número de vueltas necesario, y si dividimos ambos miembros por 0,05, tendremos en el segundo miembro despejado el valor de N , que es precisamente igual a 4.000 dividido por 0,5. De una manera general, el número de vueltas se obtiene dividiendo el valor de los Amp.-Vueltas por la intensidad de la corriente. En nuestro ejemplo tendremos que N es igual a 8.000 vueltas. Destacamos a nuestros lectores que estas fórmulas son de fundamental importancia por la gran aplicación que tienen.

Hasta ahora sólo vimos la manera de producir un campo magnético aprovechando la corriente eléctrica, pero no reparamos en la manera que dicho campo magnético atravesaba la masa de hierro o mejor dicho la forma en que las líneas de fuerza magnética se propagan por el núcleo de hierro. Claro está que también debemos considerar el caso en que el núcleo que se emplee en la bobina sea de aire. Recordemos que el núcleo de hierro se emplea para reforzar el campo magnético.

Consideremos la figura 136, donde se tienen dos electroimanes cuyas bobinas son de características idénticas, esto es, que el número de espiras es exactamente el mismo. La sección del núcleo de hierro es también la misma; en cambio el recorrido de las líneas magnéticas dentro del hierro es distinto, es decir, que la distancia entre los dos polos de uno de los electroimanes es mayor que la del otro. De aquí resulta que la resistencia que ofrece el núcleo del primer electroimán a la formación de las líneas magnéticas es también mayor que la del segundo. Este fenómeno podría compararse al de la resistencia óhmica. Efectivamente, recordemos que la resistencia de un conductor es tanto mayor cuanto mayor es su longitud y que, por el contrario, la resistencia del conductor disminuye cuando aumenta el diámetro (sección) del conductor. Lo que ocurre en el campo eléctrico, se cumple también en el campo magnético. Solamente que varían las denominaciones. Así, lo que en corriente eléctrica es resistencia, en el magnetismo es la RE-

LUCTANCIA, es decir, resistencia magnética. Como se vió alestudiar la resistencia óhmica, la fórmula que daba el valor de la misma, estaba expresada

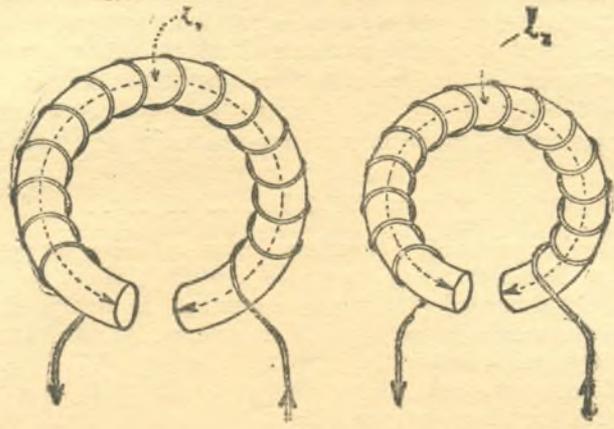


Fig. 136

por la siguiente relación:

$$R_a = \frac{\rho \times l}{s} \quad (5)$$

Análogamente, la reluctancia viene expresada por una fórmula semejante:

$$R_m = \frac{l}{\mu \times s} \dots \dots \dots (46)$$

- donde: R_m es la resistencia magnética o reluctancia.
- l es la longitud de la línea magnética media en centímetros.
- s es la sección del núcleo en centímetros cuadrados.
- y μ es un factor que da el valor de la conductibilidad magnética, denominada generalmente PERMEABILIDAD MAGNETICA.

La unidad con que se mide la reluctancia es el OERSTED.

Posiblemente asombrará a los lectores el hecho de que el factor permeabilidad se encuentre en el denominador de la expresión puesto que en la fórmula 5 se halla en el numerador. La razón es la siguiente: en la fórmula 5 ρ es la resistividad y aumenta con la longitud del conductor; en cambio la permeabilidad disminuye cuando aumenta la longitud del núcleo. Esta es la razón por la cual los factores de resistividad y permeabilidad aparecen en distintos lugares de la fórmula. ¿Qué importancia tiene la expresión de la fórmula 46? Veremos en seguida que en electro magnetismo la permeabilidad magnética desempeña una función vital y sobre todo cuando se emplea con corrientes alternadas, como veremos más tarde.

Antes de calcular con la fórmula 46, veamos primeramente cómo se interpreta el factor de permeabilidad.

Si a una bobina de alambre por donde pasa corriente continua se le introduce en su interior un núcleo de hierro, éste se imana por la acción del campo magnético de la bobina y emite a su vez líneas de fuerza magnéticas que se suman a las de la bobina. Si llamamos a la inducción magnética producida por el hierro "B" y la producida por la bobina sola sin el núcleo de hierro dulce "H", resulta que la relación entre las dos es igual a la permeabilidad magnética. Si escribimos esta expresión tenemos:

$$\mu = \frac{B}{H} \dots \dots \dots (47)$$

Es decir, que el valor de la permeabilidad magnética da la relación

tre la inducción magnética producida por una bobina con núcleo de hierro y la misma bobina con núcleo de aire (sin núcleo de hierro). Los lectores imaginarán que para una misma inducción de la bobina (H) en el aire al colocársele núcleos de distintos tipos de hierro la inducción "B" será distinta, como pueden observar en la Tabla VIII, en la cual se han tomado los valores de "B" para distintos "hierros" manteniendo el mismo valor de "H".

T A B L A V I I I

Valores de permeabilidad magnética máximos (μ)	
MATERIAL	μ
Aire	1
Acero cromo para imanes	94
Acero endurecido	110
Acero tungsteno para imanes	105
Hierro fundido	240
Hierro fundido templado	600
Hierro electrolítico	1850
Hierro electrolítico en chapas y templado . .	3270
Acero fundido	3550
Hierro electrolítico templado	14400
Acero de fundición templado	14800

Es muy fácil interpretar las curvas que dan los fabricantes de hierros y aceros especiales para los trabajos en la electrotécnica y los empleados en la radiotécnica. Los hierros y aceros empleados en la radiotécnica son generalmente tratados en base a métodos especiales para que rindan el máximo en los trabajos a que se les destinan. En las lecciones en las cuales estudiaremos la manera de calcular las impedancias de filtro y transformadores en general se darán amplios detalles de los distintos hierros a emplearse, así como también todos los tipos de pérdidas que en ellos se producen.

Como dato ilustrativo insertamos unas curvas de permeabilidad magnética en base, como ya dijimos, a los valores de "B" y "H". La parte de las curvas que tienden a la posición horizontal, es la parte que se llama SATURACION MAGNETICA, pues por más que se aumenten los amperes-vueltas es imposible inducir más líneas de fuerza al hierro. Es decir, que la intensidad del campo magnético no aumenta. En esas condiciones el valor de μ no aumenta, pudiendo decirse por lo tanto que cuando no es posible inducir al hierro más líneas de fuerza magnéticas se debe a que dicho hierro ha llegado al punto de saturación, es decir: el hierro rinde el máximo de magnetización y por lo tanto se llega también al máximo del valor de la permeabilidad magnética.

Otra conclusión que pueden los lectores obtener observando las curvas de la magnetización, es que la magnetización en el hierro aumenta rápidamente para un pequeño aumento en los amperes-vueltas (valores de H.), pero que a partir de cierto instante el aumento se hace lentamente hasta el punto de la saturación donde la magnetización ya no aumenta más.

LEY DE OHM PARA EL ELECTROMAGNETISMO

Hemos visto dos factores importantes que intervienen en el electromag-

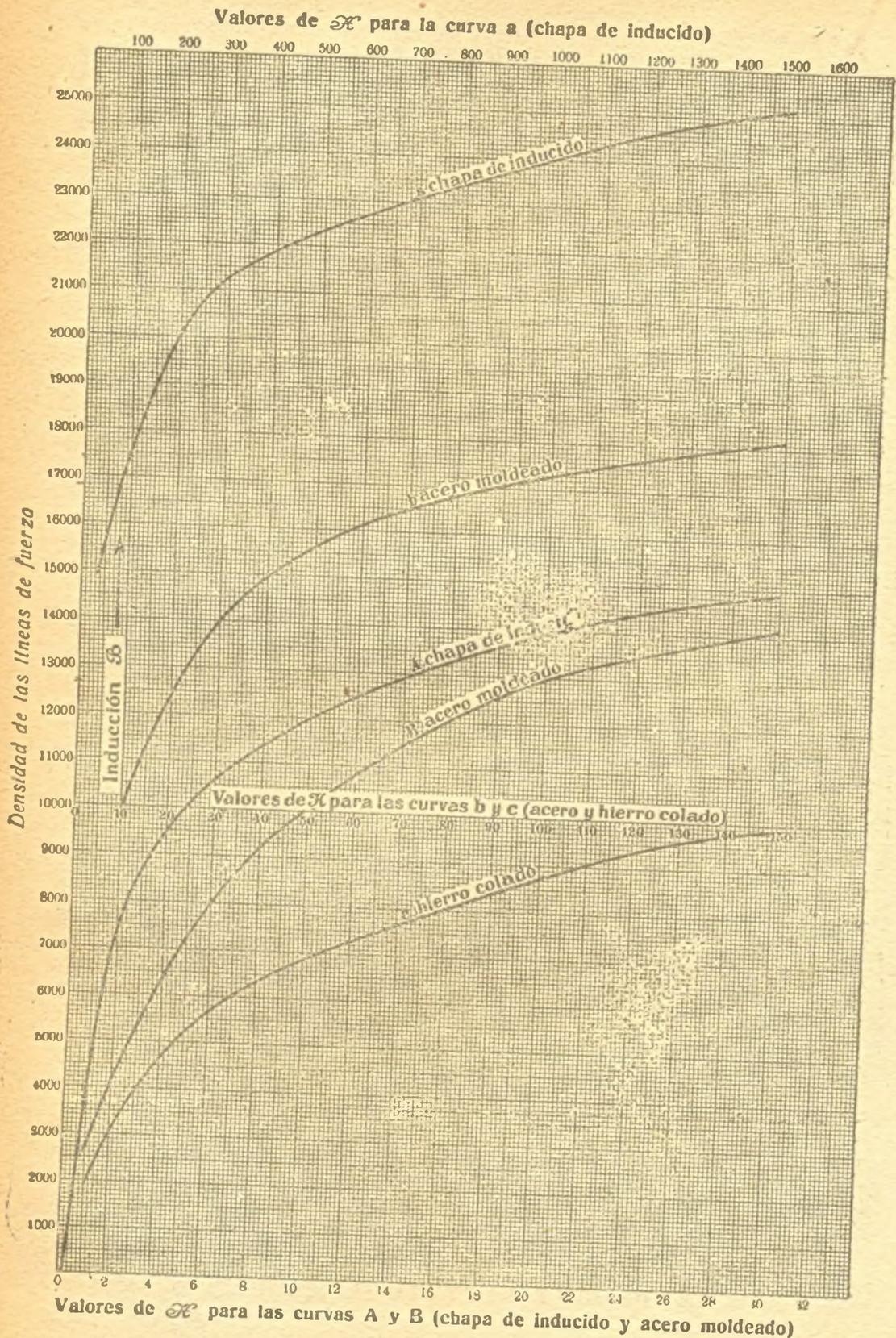


Fig. 137

netismo. El primero era el que originaba el campo magnético y lo denominamos fuerza magneto-motriz. La unidad de la fuerza magneto-motriz es el Gilbert. El otro factor es la Reluctancia que, como ya dijimos, es la que se opone en mayor o menor grado a la formación del campo magnético producido por la fuerza magneto-motriz y cuya unidad es el Oersted.

Como se recordará, cuando estudiamos la Ley de Ohm para la corriente eléctrica, dijimos que una fuerza electro-motriz produce una intensidad de corriente eléctrica, siendo ésta mayor o menor según sea el valor de la resistencia magnética del circuito.

Si comparamos los factores enunciados para la Ley de Ohm con la fuerza magneto-motriz y la reluctancia, resulta que se puede hablar de intensidad de campo magnético si relacionamos precisamente la fuerza magneto-motriz con la reluctancia. Si llamamos (ϕ) a la intensidad del flujo magnético o flujo sencillamente, podremos escribir:

$$\phi = \frac{\text{F.M.M.}}{\text{Rm}} \dots \dots \dots (48)$$

donde ϕ es la intensidad de flujo magnético y se mide en Maxwell.

Según la fórmula (45) donde F.M.M. era igual a $0,4 \times \pi \times N \times I$ y según la fórmula 46 que daba el valor de la reluctancia $\text{Rm} = \frac{l}{\mu \times s}$

sustituyendo la 45 y la 46 en la fórmula, (48) obtendremos:

$$\phi = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I}{l} \text{ o también } \phi = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I \times \mu \times s}{l} \quad (49)$$

y de esta manera habremos conseguido hallar la expresión que corresponde a la Ley de Ohm para el electromagnetismo, cuya aplicación en la práctica es de incalculable valor. Veamos un ejemplo para familiarizar a los lectores con la fórmula 49:

Recordemos la fig. (136), por ejemplo la de la izquierda, cuyos valores son: el número de vueltas de la bobina, 1200; la intensidad de la corriente que atraviesa la bobina, 0,5 Amp.; la sección del núcleo, 4 cm.; la longitud del hierro, de 40 cm. El valor de μ , es decir, de la permeabilidad magnética, varía para cada valor de N , I y l , de manera que es necesario calcularlo para cada caso, para lo cual aplicaremos la fórmula siguiente:

$$H = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I}{l} \dots \dots \dots (50)$$

Dado que se conoce el valor de N , I y l , podremos calcular el valor de H correspondiente y ayudados por el gráfico de la figura 137 se tendrá el valor de B . Una vez conocidos B y H resulta fácil el cálculo de μ aplicando la fórmula (47). Finalmente, calculando μ se conocen todos los valores de la fórmula (48) que da el valor del flujo magnético que pide el problema.

Calculemos entonces H . Sustituyendo los datos del problema en la fórmula (50):

$$H = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I}{l} = \frac{0,4 \times 3,14 \times 1200 \times 0,5}{40} = 18,85 \text{ Gilbert/cm.}$$

es decir, que la inducción magnética en el aire de la bobina de nuestro ejemplo es igual a 18,85 Gilbert/cm. Conocido este valor, busquemos el de "B".

Si suponemos que el hierro empleado para el núcleo del ejemplo es de acero moldeado, tendremos que para 18,85 el valor de B es igual a 12.100 lí-

neas de fuerza, de manera que ahora ya estamos en condiciones de calcular el valor de μ . Dijimos que $\mu = \frac{B}{H}$; entonces: $\mu = \frac{B}{H} = \frac{12.100}{18.35} = 642$

aproximadamente.

Puesto que conocemos todos los valores que intervienen en la fórmula (48), que da el valor del flujo, bastará sustituirlos en dicha fórmula para tener el valor del mismo. Tendremos, pues:

$$\phi = \frac{0.4 \times \pi \times N \times I \times \mu \times s}{l} = \frac{0.4 \times 3.14 \times 1200 \times 0.5 \times 642 \times 4}{40} =$$

48.381 Maxwell.

o sea, el flujo magnético provocado en el hierro por una corriente de 0,5 Amp. que atraviesa un carrete de 1200 espiras es de 48381 Maxwell para el caso de un núcleo de acero moldeado de 40 cm. de longitud y 4 cm. de sección.

Veamos ahora el caso de la figura 136, a la derecha, para la cual dijimos que la longitud del hierro era menor, conservándose iguales las otras características. Como el valor de l es distinto en este caso, también obtendremos otro valor para μ y por lo tanto será distinta la reluctancia. Volvamos a aplicar la fórmula (50) con el nuevo valor de l que es igual a 35 cm. y resulta:

$$H = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I}{l} = \frac{0,4 \times 3,14 \times 1200 \times 0,5}{35} = 21,5 \text{ Gilbert/cm.}$$

Si volvemos a las curvas de la figura 137 podremos buscar el valor que corresponde a "B"; para este ejemplo y suponiendo que el hierro empleado es el mismo del ejemplo anterior. Para un valor de 21.5 hallamos $B = 12700$ líneas de fuerza magnéticas. Por lo tanto a μ le corresponderán:

$$\mu = \frac{B}{H} \text{ o sea } \mu = \frac{12700}{21,5} = 590$$

que comparado al del caso anterior se ve que hay mucha diferencia en usar un núcleo de 40 ó de 35 cms. de longitud.

Aplicando la fórmula (49) tenemos:

$$\phi = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I \times \mu \times s}{l} = \frac{0,4 \times 3,14 \times 1200 \times 0,5 \times 590 \times 4}{35} =$$

51814 Marwell.

Es decir que también el flujo magnético será mayor que en el caso anterior. Esto nos enseña que cuando se trata de producir o provocar un campo magnético éste será más "potente" cuanto mayor sea el flujo magnético o sea mayor cantidad de Maxwell y para lo cual es necesario reducir en lo posible la reluctancia o, en otras palabras, aumentar el valor de la permeabilidad magnética.

La aplicación más importante de todos estos conocimientos la tenemos en el cálculo de los electroimanes. Estos son empleados en la Radiotécnica no solamente en los altoparlantes, sino también para la interrupción de circuitos de alto y bajo voltaje (Relay).

En la fig. 136 habíamos presentado dos ejemplos de electroimanes, pero en el cálculo no tomamos en cuenta el espacio existente entre los dos polos del mismo; por lo tanto los resultados obtenidos no son exactos puesto que el flujo magnético formado en el hierro no puede ser el mismo que en el aire,

debido a que la permeabilidad magnética del aire es $\mu = 1$. Si comparamos este valor de μ con los ya obtenidos, vemos que la reluctancia debe ser muy distinta en el aire. En efecto, si suponemos en cualquiera de los ejemplos anteriores que la distancia entre los dos polos, o mejor dicho entre las dos caras del electroimán que se enfrentan es de dos cm., tendremos que la longitud l de la línea magnética media ya no será ni de 20 ni de 15 cms., sino una cantidad compuesta, como veremos en seguida. Sumemos las reluctancias del hierro más la reluctancia del aire que nos dará la reluctancia real del circuito magnético. Si llamamos l_1 a la distancia de la línea magnética media (longitud media del hierro); l_2 a la distancia entre las dos caras del electro-

imán, tendremos que la reluctancia del hierro será $\frac{l_1}{\mu \times s}$ y la del aire

$\frac{l_2}{\mu \times s}$. Sumando las dos reluctancias tendremos la reluctancia total R_m .

Por lo tanto:

$$R_m = \frac{l_1}{\mu \times s} + \frac{l_2}{\mu \times s}$$

Como μ en el aire, o sea la permeabilidad magnética, es igual a uno, y uno multiplicado por cualquier valor que adquiera s dará siempre el mismo valor de s , resulta:

$$R_m = \frac{l_1}{\mu \times s} + \frac{l_2}{s}$$

Finalmente:

$$R_m = \frac{\mu l_2 + l_1}{\mu \times s} \dots \dots \dots (51)$$

La fórmula 51 así obtenida nos da la reluctancia real de un electroimán. Por lo tanto, si aplicamos este valor a la fórmula que da el flujo magnético obtendremos el valor exacto del mismo. De manera que podemos escribir la fórmula 48 de la siguiente manera:

$$\phi = \frac{\text{F.M.M.}}{R_m} = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I}{\mu l_2 + l_1} \dots \dots \dots (52) \text{ o bien}$$

$$\phi = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I \times \mu \times s}{\mu l_2 + l_1} \dots \dots \dots (53)$$

fórmula que nos permite calcular con suma facilidad el flujo magnético capaz de desarrollar un determinado electroimán a través del espacio de aire existente entre dos polos. Esta distancia entre los dos polos recibe el nombre de ENTRE-HIERRO. Volvamos a calcular el primer ejemplo utilizando la nueva fórmula 53 y recordemos que la longitud de la línea magnética media es $l_1 = 20$ cm. y $l_2 = 2$ cm. Sustituyendo valores en la fórmula 53, tenemos:

$$= \frac{0,4 \times \pi \times N \times I \times \mu \times s}{\mu l_2 + l_1} = \frac{0,4 \times 3,14 \times 1.200 \times 0,5 \times 642 \times 4}{(642 \times 2) + 40}$$

1461 Maxwell.

lo cual da una idea de la influencia que tiene para el flujo magnético.

En los motores y generadores eléctricos el entrehierro se reduce a la mínima expresión prácticamente posible, puesto que de ello depende que el

flujo magnético útil sea el mayor posible, con lo cual se obtiene el mejor rendimiento.

En la Radiotécnica tenemos una aplicación muy análoga para el caso de los altoparlantes que pasaremos a estudiar inmediatamente, pero antes daremos una fórmula que se deduce de la 53 y que nos servirá en la práctica para calcular los amperes-vueltas necesarios para producir un flujo magnético determinado a través de un entrehierro.

Esta expresión puede escribirse de la siguiente manera:

$$N \times I = \frac{\phi \times (\mu \times l_2 + l_1)}{0,4 \times \pi \times \mu \times s} \dots\dots\dots (54)$$

Según puede verse en la fórmula 54, es posible calcular el valor del producto $N \times I$, o sea los amperes-vueltas, de manera que basta fijar el valor de N para que quede determinado el valor de I , e inversamente fijando I , quedará determinado el valor de N .

TELEFONOS Y ALTOPARLANTES. — DIVERSOS TIPOS

Observemos la figura 138. Tenemos representados un electroimán, colocado en una posición tal que el núcleo de hierro está próximo por sus extremos a una lámina de hierro dulce. Si el bobinado del electroimán se conecta a una fuente electromotriz de corriente continua (por ejemplo, una pila), la corriente que atravesará el bobinado magnetizará el núcleo generando en cada extremo de él un polo magnético distinto. Como la lámina

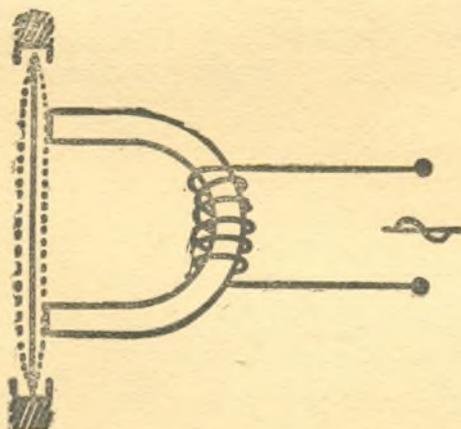


Fig. 138

que enfrenta a los polos del electroimán está muy próxima a ellos, resulta que el campo magnético generado también influenciará a la lámina dando origen a una atracción. Dicha atracción de la lámina producirá un desplazamiento de la misma hacia los polos. La lámina queda en una posición más próxima a los polos, pero no llega a tocarlos porque previamente se han fijado sus extremos. La lámina ocupará la nueva posición todo el tiempo que el efecto de la corriente eléctrica que atraviesa el bobinado del electroimán produzca el fenómeno descrito. En cuanto cesa la corriente la lámina vuelve a su posición de origen. Vemos entonces que si conectamos intermitentemente una batería al bobinado del electroimán conseguiríamos imprimir golpes a la lámina. Veamos cómo se comporta la lámina aludida si conectamos al bobinado del electroimán una tensión de corriente alternada.

Cuando la corriente tiene un sentido determinado, un polo del electroimán será norte y el otro sud, y cuando se invierte el sentido de la corriente

resultará que también cambiarán de polo magnético los extremos del electroimán (recordemos la regla de Ampere). ¿Qué sucederá entonces? Que la lámina de hierro será atraída una vez por la parte superior y luego por la parte inferior haciendo que la lámina vibre de acuerdo a los cambios de polo que se produzcan en el electroimán.

Si la fuente electromotriz de corriente alternada conectada al bobinado del electroimán es de 50 Hertz resultará que se producirán cincuenta atracciones de la lámina por la parte superior y otras tantas en la parte inferior dando origen a que la lámina para cada ciclo completo de la corriente efectúe una vibración. En estas condiciones resultará que si acercamos el oído a la lámina oiremos un sonido que corresponde a una nota de 50 vibraciones por segundo.

Todo esto explica cómo funciona un teléfono de radio.

Para que el sonido a que nos hemos referido (producido por la lámina) se produzca fielmente, se ha ideado una caja de resonancia de forma redonda y tal que sea posible ajustar una membrana de la misma forma sobre sus bordes. La caja y la tapa forman la caja acústica. En el centro de la caja se coloca el núcleo y el bobinado en dos secciones.

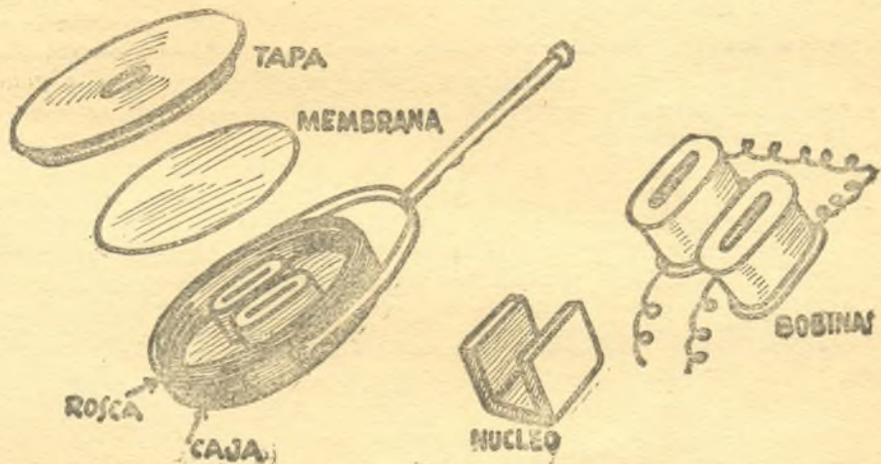


Fig. 139

La altura del núcleo es tal que no llega a sobrepasar el nivel de la caja, sino que por el contrario es algo menor. Esto se hace con el fin de que la membrana (lámina) no llegue a tocar durante sus vibraciones al núcleo. La distancia entre la membrana y el núcleo tampoco debe ser exagerada, pues ello reduciría mucho la eficiencia de la acción del campo magnético. Como se ve en la figura 139, el núcleo tiene una forma de "U"; esto se hace a fin de aumentar la eficiencia del campo magnético variable. Por esta razón el bobinado se hace en dos carretes dispuestos de tal manera que cuando la parte superior de uno de los bobinados genera un polo norte, la parte superior del otro bobinado genera un polo sud.

Este tipo de teléfono, bajo cuyo principio trabajan todos los empleados actualmente en radio del tipo standard, ha servido de base para la construcción de los primeros altoparlantes utilizados en la recepción de radio. Como la posición de la membrana con respecto a las caras superiores del núcleo son sumamente críticas cuando se trata de obtener gran sensibilidad y sobre todo naturalidad en la reproducción musical y la voz, se ha recurrido al uso de un imán permanente a fin de mantener a la membrana en una posición de equilibrio. Este equilibrio, producido magnéticamente, hace que la membrana se desplace en sus vibraciones a distancias iguales de su posición de equi-

brio por ambos lados. La figura 140 muestra la posición del imán con respecto a los polos (a la izquierda). En la misma figura, a la derecha, se muestra el corte de un teléfono moderno con la descripción de sus partes.

Como ya hemos dicho, el primitivo altoparlante lo constituía un teléfono del tipo que se ve en la figura 140, pero de mayor tamaño y con un agre-

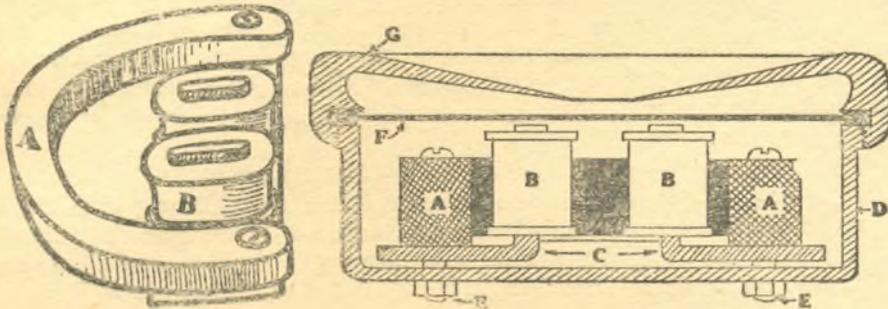


Fig. 140

gado. La membrana estaba rígidamente fijada en sus bordes entre soportes de goma. El imán, las bobinas y las armaduras estaban montados sobre un armazón que permitía, por medio de un tornillo que salía al exterior, regular la distancia entre los polos de la armadura y la membrana. Esta regulación permitía colocar los polos de la armadura con respecto a la membrana, en el mejor punto de funcionamiento. Dicho punto se determinaba a oído simplemente.

La única diferencia que existía entre los distintos tipos de altoparlantes en aquel entonces, estribaba en las bocinas, a las cuales se les daba formas caprichosas unas veces y otras respondiendo a delineamientos técnicos de acuerdo a experiencias obtenidas por las bocinas de fonógrafo. En la fi-

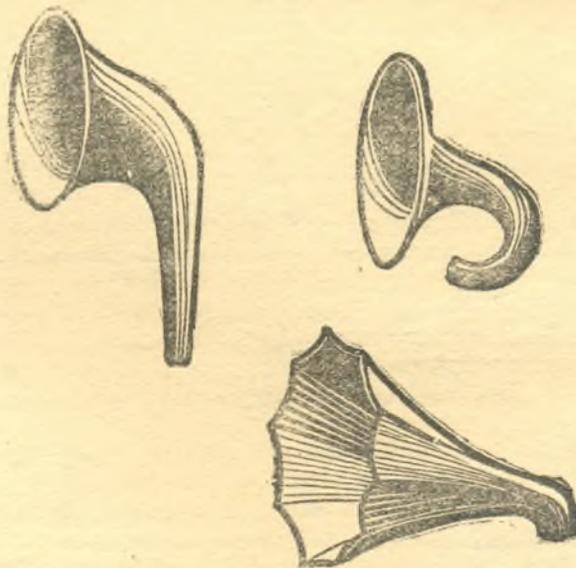


Fig. 141

gura 141 se ilustran distintos tipos de bocinas que se utilizaron hasta hace unos diez años.

Más tarde, este sistema de reproducción fué perfeccionado haciendo actuar una lámina de hierro dulce dentro de una bobina excitadora. Esta bobina actuaba dentro de un campo magnético muy intenso producido por un imán permanente. En lugar de utilizarse membrana del tipo explicado más arriba, se emplearon membranas cónicas fabricadas en papel grueso, cartulina, telas barnizadas, etc. Los tamaños de dichas membranas variaban de un tipo a otro, pues mientras que era muy común un tamaño de 30 cm. de diámetro, otros alcanzaban hasta un metro.

La vibración transmitida a las membranas, no se hacía directamente sino por intermedio de un vástago sujeto en un punto de la lámina a manera de brazo de palanca. Todavía suele verse en algunos receptores de viejos diseños altoparlantes de este tipo, conocidos con el nombre de altoparlantes electromagnéticos o simplemente magnéticos (*).

Después de la era de los electromagnéticos entramos en la de los altoparlantes de alta calidad, que permiten una reproducción de la escala musical prácticamente perfecta. Dichos altoparlantes, denominados DINAMICOS, son los que se emplean en la actualidad.

Veamos cómo funcionan y a qué se debe el nombre de dinámicos. En la figura 142 se ven dos imanes rectos que se enfrentan por sus polos norte. ¿Qué sucederá en este caso? Entre ambos polos se producirá un movimiento de repulsión. Vemos, pues, que es posible producir un movimiento de dos masas por el solo hecho de acercar dos polos magnéticos del mismo nombre. A este movimiento o desplazamiento, la física lo estudia en la parte correspondiente a la DINAMICA, pues la "dinámica estudia las fuerzas que producen el movimiento".

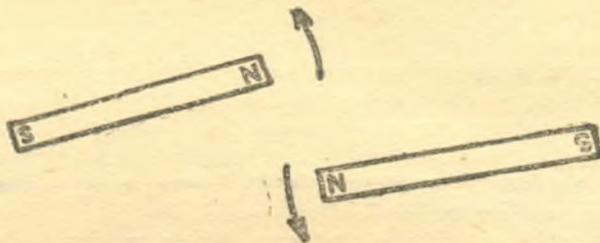


Fig. 142

Veamos ahora la forma de producir el mismo fenómeno de la figura 142, pero con la nueva disposición que puede verse en la figura 143. Tenemos en ella un imán recto como en el caso anterior y un solenoide conectado a una fuente de fuerza electro-motriz de corriente continua. Si por dicho solenoide pasa corriente continua, se generará, por el efecto de la corriente, un campo magnético. Por lo tanto, tendremos un polo norte y un polo sud.



Fig. 143

Si acercamos el polo norte del imán por ejemplo al polo norte del solenoide, resultará que el imán y el solenoide tienden a rechazarse. Si invertimos la polaridad de la fuerza electromotriz, la dirección de la corriente en el so-

(*) Existen tipos de parlantes que no son magnéticos y que no estudiaremos todavía; éstos son conocidos como altoparlantes "Electroestáticos". Existe, además, un tipo "Piezoeléctrico".

lenoide circulará en el sentido contrario; por lo tanto, donde antes era polo norte, tendremos el polo sud y viceversa. En consecuencia quedará enfrente el polo norte del imán al polo sud del solenoide originándose así un movimiento de atracción entre ambos. Vemos, pues, que es posible obtener un mismo efecto utilizando dos imanes o también un imán y un solenoide.

Veamos ahora la figura 144. Tenemos en ella dos solenoides. Por el de la izquierda circula corriente suministrada por una fuente de fuerza electromotriz de corriente continua. Se generará pues alrededor del solenoide un campo magnético de las mismas características que las de un imán. Si por el solenoide de la derecha hacemos circular una corriente continua, de

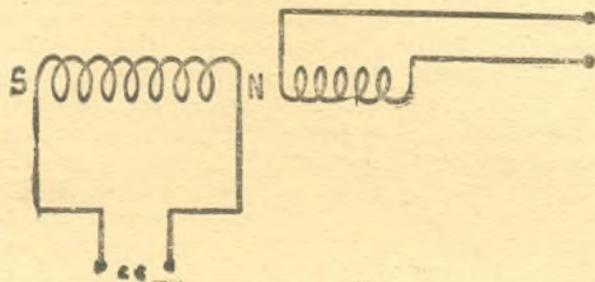


Fig. 144

manera tal que el polo norte que se genera en él se enfrente con el polo norte del solenoide de la izquierda, resultará, como en los casos anteriores, un movimiento de repulsión entre ambos.

Si sujetamos el solenoide de la izquierda de manera tal que no pueda moverse de su posición de reposo, y en cambio fijamos al solenoide de la derecha por algún sistema elástico, podremos realizar las siguientes experiencias: mantengamos constantemente conectado el solenoide de la izquierda a la fuente de f.e.m. y conectemos al solenoide de la derecha un voltaje de corriente alternada. Si la frecuencia de la corriente es de 50 Hertz, resultará que como en el solenoide la dirección de la intensidad de la corriente varía 50 veces por segundo, el extremo del solenoide de la derecha que enfrenta al de la izquierda cambiará también 50 veces por segundo de polo magnético. De ahí que cuando el polo enfrentado sea del mismo nombre se rechazarán, y en el caso contrario se atraerán. Como este fenómeno se produce 50 veces por segundo, el solenoide de la derecha entrará a vibrar a razón de 50 veces por segundo.

Si al solenoide mencionado le fijamos un cono de papel a fin de que pueda comunicar al aire las vibraciones, resultará que podremos escuchar un sonido equivalente a 50 ciclos por segundo. Si en lugar de conectar este solenoide a la fuente de f.e.m. de frecuencia constante, lo conectamos a otra de frecuencia variable (un receptor de broadcasting), escucharemos sonidos equivalentes a las frecuencias cuyas intensidades de corriente atraviesan el solenoide.

Lo que acabamos de explicar es el principio del funcionamiento de los altoparlantes dinámicos. Estos se distinguen en dos clases o tipos: uno es el tipo ELECTRODINAMICO y el otro es el MAGNETODINAMICO. La diferencia existente entre ambos consiste en que el primero, el campo magnético constante (el solenoide de la izquierda de la figura 144) lo produce un electro imán, es decir, que tenemos un núcleo de hierro dulce dentro de una bobina por la cual circula corriente continua; en cambio, en el tipo magnetodinámico el campo magnético constante es producido por un imán permanente muy potente. Queda, entonces, establecido, que la diferencia entre los altoparlantes dinámicos sólo estriba en la forma en que es generado el campo magnético constante.

En la figura 145 se dan los detalles que corresponden a un altoparlante magnetodinámico. Como se ve, en A tenemos el imán permanente de perfil en forma de U. El circuito magnético lo cierra un cilindro de hierro dul-

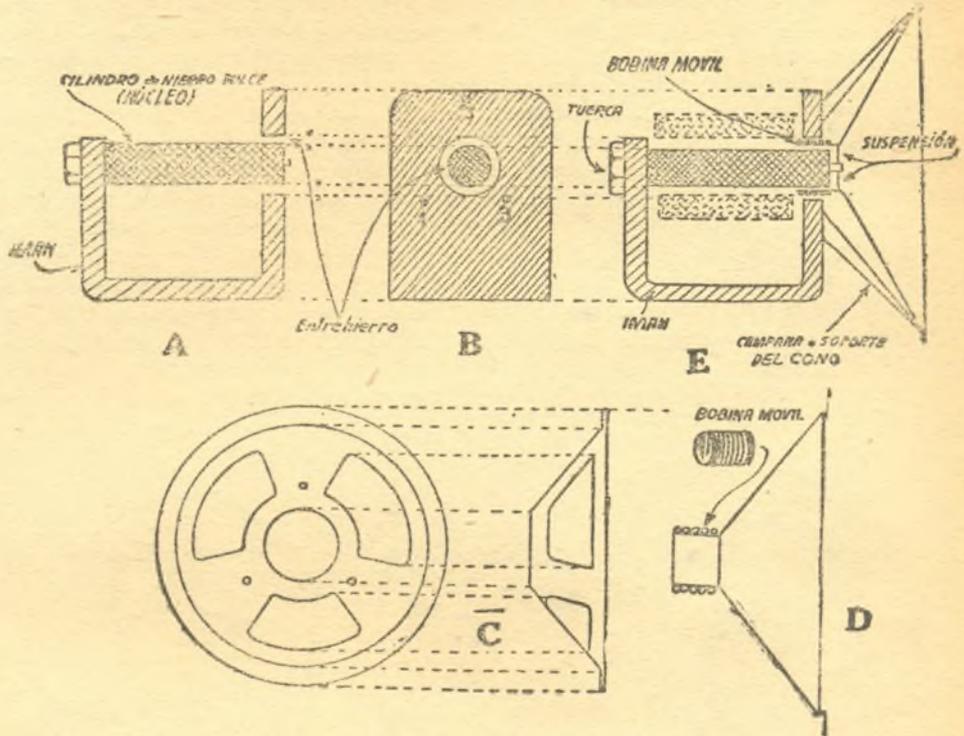


Fig. 145

ce o núcleo de manera tal que un extremo de éste viene rígidamente fijado a un extremo de la U, mientras que el otro extremo queda contenido dentro de un orificio practicado en la rama contraria de la U. El núcleo de referencia, no toca en ningún punto a la rama de la U, sino que queda un espacio relativamente pequeño y de forma circular, como puede verse en B de la figura 145. A dicho espacio se le da el nombre de ENTREHIERRO. Si los lectores observan con cuidado la figura A verán que si por ejemplo el núcleo se ha fijado por el polo norte, dicho polo se comunicará al extremo del núcleo, es decir, del lado opuesto al de fijación. Esta disposición permite que el polo norte y el polo sud del imán estén sumamente próximos separándolos solamente la distancia del entrehierro. Esto se hace con el fin de que el solenoide a que nos hemos referido (figura 144 a la derecha) cuando se le conecte una f.e.m. de corriente alternada se encuentra dentro de un campo magnético lo más intenso posible, lo que permite un mayor desplazamiento de dicho solenoide, lo cual se traduce en un sonido más intenso. Si observamos la figura C, veremos lo que se llama la CAMPANA del altoparlante, cuya misión es la de sujetar el cono (la membrana) que va a comunicar al aire las vibraciones del solenoide móvil. Este se fija en los puntos marcados 1, 2 y 3 en B. En D se muestra un corte del cono en cuya parte media se ha fijado un tubo delgado sobre el cual se ha bobinado una pequeña bobina (el solenoide de la derecha de la figura. 144). Esta bobina en la práctica recibe el nombre de BOBINA MOVIL, y va colocada exactamente en el centro del entrehierro y en ningún momento debe tocar las paredes del mismo. Para mantener la bobina móvil en esa posición existen muchos

tipos de soporte que en la práctica reciben el nombre de ARAÑA por la forma que éste tiene, o también simplemente SUSPENSION de la bobina móvil. La suspensión puede ser del tipo de fijación central o bien del tipo excéntrico o exterior, siendo éste el más empleado. Actualmente, se está empleando con mucho éxito un tipo con repliegues circulares. En la figura 145 E, se muestra el corte del altoparlante magnetodinámico con la bobina móvil en su posición y fijada en la parte central.

Este mismo tipo de altoparlante podría hacerse electrodinámico si en lugar de tener un imán permanente fabricáramos una U exactamente igual, pero de hierro dulce, en cuyo caso no tendríamos ningún campo magnético. Dicho campo podría obtenerse arrollando alrededor del núcleo una gran cantidad de vueltas de alambre aislado y haciendo pasar por ellas una corriente continua. En la fig. 145 E, la parte que aparece punteada correspondería a la bobina con el fin de magnetizar el hierro haciéndolo trabajar como si fuese un imán permanente. En la práctica esta bobina, que en realidad es la bobina del electroimán, se denomina CAMPO MAGNETICO o sencillamente CAMPO.

En la figura 146, para ilustrar al lector, se han dibujado tres parlantes del tipo más usual.

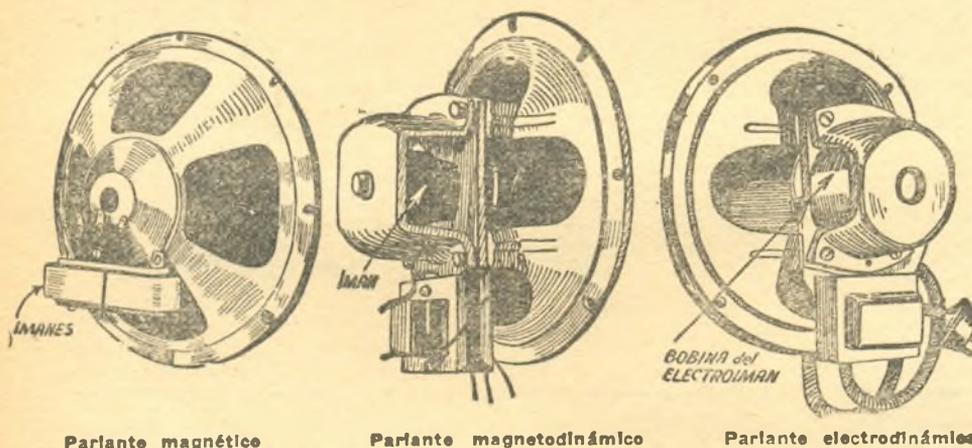


Fig. 146

Más tarde estudiaremos la manera cómo se calculan las distintas bobinas a que nos hemos referido en esta lección utilizando las fórmulas dadas para el electromagnetismo.

34a. LECCION

VALVULAS (Continuación) - TETRODO

Por lo que hemos visto al estudiar las válvulas triodos, podemos pasar directamente al estudio de las capacidades internas de la válvula.

Recordemos que tenemos dos elementos (electrodos): la grilla y la placa que desempeñan un rol por demás importante. Estas van conectadas a potenciales distintos de manera que actúan como si fueran armaduras de un condensador. En la figura 147 se muestra en línea punteada el condensador que se forma entre la grilla y la placa. Veamos qué efecto produce dicha capacidad en el funcionamiento de la válvula. Supongamos que en el circuito de grilla se hace presente una señal de alta frecuencia, de una broadcas-

ting, por ejemplo. ¿Qué sucede en el circuito? Pues que dicha válvula trabaja con una parte de la señal impresa a la grilla, pues debido a la carga y descarga del condensador parte de la energía se hace presente en el circuito

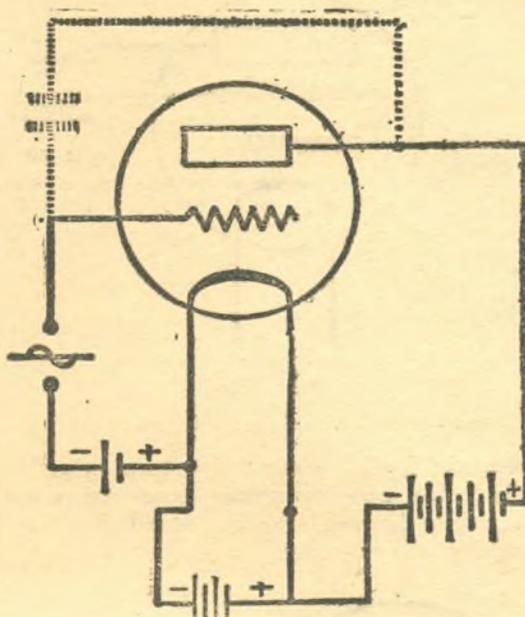


Fig. 147

de la placa. Si dicha válvula trabaja como amplificadora, resultará que si parte de la señal impresa a la grilla escapa a través de la capacidad interna por el circuito de placa, resultará que la válvula ya no trabajará correctamente.

En la época en que el único tipo de válvulas empleadas eran los triodos, se representaban serias dificultades para amplificar frecuencias elevadas aún en las empleadas en la banda común de broadcasting. Respecto a frecuencias más elevadas que 1500 KHz., ni siquiera se pensaba en amplificarlas. Los laboratorios anexos a las fábricas de válvulas trabajaban incansablemente para obtener válvulas cuya capacidad grilla-placa fuera lo más reducida posible sin lograrlo realmente. El lector podrá darse cuenta de que si la frecuencia es muy elevada de la señal aplicada a la grilla de la válvula resultaba que la reactancia del condensador es muy pequeña, a extremo que resultaba un perfecto corto circuito entre la grilla y la placa. Este fenómeno hacía imposible amplificar señales de alta frecuencia del orden de los 1500 KHz. para arriba.

Inconvenientes más o menos parecidos se presentan en los circuitos detectores y aún en los amplificadores de baja frecuencia en los circuitos cuando en ciertos trabajos se hacía necesario amplificar tensiones de corrientes alternadas cuyas frecuencias estaban en el límite de las audibles.

Luego de muchos estudios se llegó a una solución bastante feliz, pues por medio del agregado de un electrodo entre la placa y la grilla se había conseguido reducir enormemente la capacidad placa grilla.

La figura 148 muestra la disposición de los electrodos de una válvula de cuatro electrodos o sea TETRODO. Para distinguir la grilla donde se aplican las señales con la nueva grilla (cuarto electrodo), se la llama a la primera, "grilla sensible" y a la segunda, "grilla auxiliar".

En efecto, el cuarto electrodo es en realidad otra grilla de una construcción parecida a la de la grilla sensible, pero de un tamaño mayor, puesto

que aquélla contiene a esta grilla. La grilla auxiliar tiene una construcción similar a la de la grilla sensible para no dificultar el pasaje de electrones atraídos por la placa. La grilla auxiliar, como muestra la figura 149, va

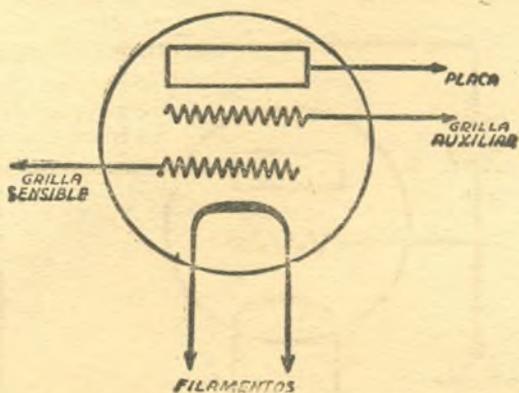


Fig. 148

conectada a un potencial positivo con respecto a la grilla. El potencial positivo aplicado a la grilla auxiliar puede tener un voltaje igual o menor que el de la placa, según lo requieran las condiciones de trabajo de la válvula y las necesidades del circuito.

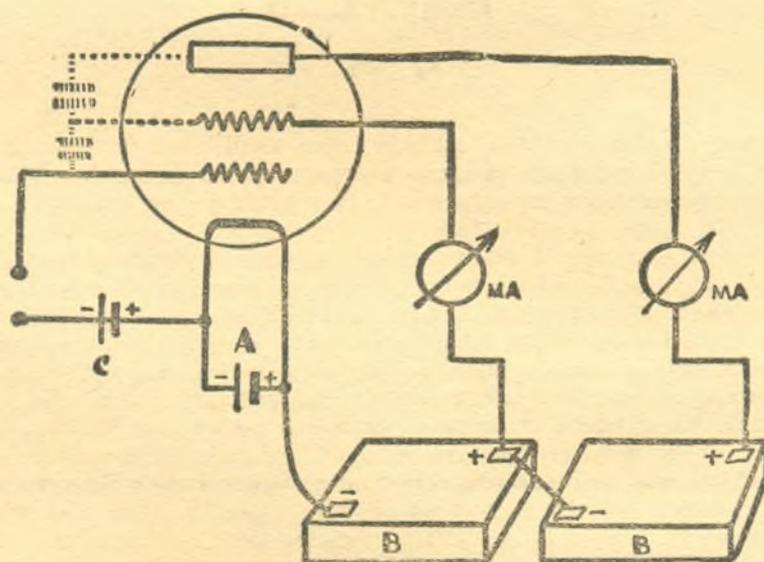


Fig. 149

Si la grilla auxiliar está conectada a un potencial positivo resultará que ésta también atraerá electrones del filamento; por lo tanto se producirá en el circuito de ésta un pasaje de corriente. Esta intensidad de corriente en ningún momento llegará a tener el valor de la placa puesto que la superficie presentada por ésta es muchísimo mayor que la de la grilla auxiliar. Vemos entonces que si el nuevo electrodo está a un potencial determinado con respecto al filamento y a la grilla, existirá una capacidad entre los electrodos de la grilla sensible y de la grilla auxiliar. Pero además existe una capacidad entre placa y grilla auxiliar, ya que en la práctica el potencial de ambos con respecto al filamento es siempre distinto.

Vemos entonces que estamos en presencia de dos condensadores que

tienen una armadura común, lo que equivale a decir que están conectados en serie. Dos condensadores en serie dan por resultado un condensador de una capacidad menor que la menor de los dos, de donde se deduce que la capacidad interna de la válvula resultante ha quedado disminuída. En la figura 149 se indica con líneas punteadas lo que acabamos de decir.

Además, el hecho de agregar un cuarto electrodo a la lámpara de tres electrodos, trae como consecuencia un aumento en la resistencia interna de la válvula. Otra de las ventajas del tetrodo es que se consigue un enorme aumento en el factor de amplificación, lo que se traduce en un aumento considerable en el voltaje amplificado para un pequeña señal de entrada.

A título ilustrativo, daremos las características de un triodo como los que se emplearon hace mucho tiempo, comparado con el tetrodo que se diseñó en su época y que estaba destinado a corregir las deficiencias del triodo.

	Triodo		Tetrodo	
Tensión de filamento de	3 a 3.3	Volt	3.3	Volt
Corriente de filamento "	60 a 63	M.A.	132	M.A.
Tensión de placa "	90	Volt	135	Volt
Corriente de placa "	2.5	M.A.	1.7	M.A.
Resistencia de placa "	15.500 Ω		725000 Ω	
Coefficiente de amplificación "	6.6		270	
Conductancia mutua "	425 $\mu \Omega$		375 $\mu \Omega$	
Capacidad grilla-placa "	3.3 $\mu \mu f$		0.02 $\mu \mu f$	
Tensión de grilla auxiliar "	—		45	Volt
Corriente de grilla auxiliar "	—		0.6	M.A.
Tensión negativa de grilla "	—4.5	Volt	—1.5	Volt

Si el lector compara los valores de cada uno, esto es, del triodo y del tetrodo, se dará cuenta inmediatamente de las enormes ventajas del tetrodo sobre el triodo, especialmente si se trata de amplificarse tensiones de alta frecuencia.

Obsérvese la enorme diferencia que hay en el valor de la capacidad interna de la válvula, así como el factor de amplificación.

Si ahora comparamos las tensiones negativas de ambas válvulas, veremos que el tetrodo necesita solamente una tensión negativa de —1,5 Volt, mientras que el triodo necesita —4,5 Volt. De más está decir que el tetrodo es enormemente más sensible porque para una menor tensión aplicada a la grilla se obtiene una mayor amplificación de voltaje. Creemos innecesario aconsejar al lector, después de estas explicaciones, cuál sería la válvula a elegir cuando se trata de construir un amplificador para señales de alta frecuencia.

PENTODOS

La aparición de los tetrodos dió origen a un notable adelanto en los radio-receptores. Con dichas válvulas se podía obtener una gran amplificación que se traducía en un notable aumento de sensibilidad en los aparatos. Esto hizo posible las recepciones en ondas cortas (frecuencias muy elevadas) de señales muy débiles. Facilitó además las comunicaciones de tráfico comercial radiotelegráfico y radiotelefónico, debido al aumento en la seguridad y sensibilidad de las estaciones receptoras.

A pesar de las enormes ventajas apuntadas respecto al tetrodo, no era posible aún vencer ciertas dificultades de orden técnico en el regular funcionamiento de los tetrodos. Estos inconvenientes se presentaban bajo la forma de distorsión, como si la válvula trabajara sobrecargada. Dicho fenómeno se debía a la acción de los electrones que llegaban a la placa.

Lo explicaremos en forma sencilla. Consideremos un electrón que, atraído

por la placa, adquiere una cierta velocidad hasta que choca sobre su superficie. Por efecto del choque, se desprenden de la superficie de la placa otros electrones, algunos de los cuales son atraídos por la grilla auxiliar que está próxima a la placa y a un potencial positivo, mientras que otros quedan entre el espacio de la grilla auxiliar y la placa. A este desprendimiento de electrones de la placa se le da el nombre de EMISION SECUNDARIA, puesto que es provocada por la emisión del filamento.

Si en lugar de considerar un electrón, tomamos en cuenta todos los que se dirigen hacia la placa atraídos por ésta, resultará que la emisión secundaria será mucho más intensa determinando un aumento considerable en la intensidad de la corriente del circuito de grilla auxiliar y una disminución en la corriente del circuito de placa. ¿A qué se debe entonces la disminución de la intensidad de la corriente del circuito de placa mientras que en el circuito de grilla auxiliar sucede todo lo contrario? El aumento en la intensidad de la corriente en el circuito de la grilla auxiliar se debe a que muchos de los electrones desprendidos de la placa son atraídos por la grilla auxiliar mientras que la disminución en la intensidad de la corriente de placa es producida por una nube de electrones formada por los electrones desprendidos de la placa y que no han sido atraídos por la grilla auxiliar. Como los electrones que son atraídos por la placa desde el filamento se encuentran en su camino con dicha nube electrónica, que carga el espacio negativamente, dicha nube rechazará a los electrones que traten de atravesarla. Si los electrones del filamento no alcanzan a la placa, resulta que la corriente de placa disminuirá dando origen a una pérdida de sensibilidad de la válvula. A la nube electrónica formada en el espacio de la grilla auxiliar y placa (debida a la emisión secundaria), se la denomina CARGA DE ESPACIO. La figura 150 da una idea del camino que recorren los electrones y de la posición de la nube electrónica que produce la carga del espacio.

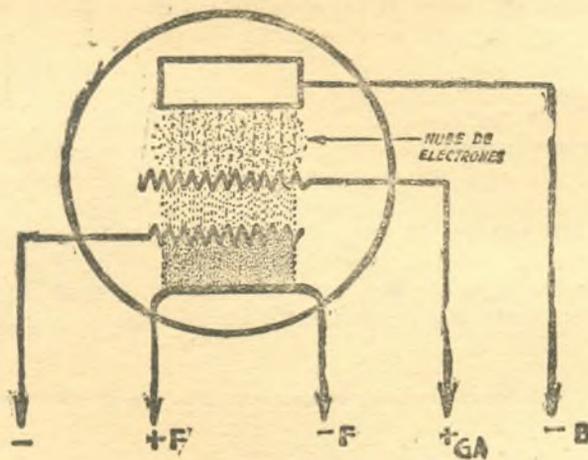


Fig. 150

Una vez descubierto este fenómeno, los técnicos de los laboratorios se dedicaron a estudiar el medio para evitar este inconveniente.

La solución se encontró intercalando una tercera grilla en el espacio comprendido entre la grilla auxiliar y la placa, es decir, justamente en el lugar donde se produciría la carga de espacio. A esta grilla se la denominó GRILLA SUPRESORA. Esta grilla se conecta al negativo de filamento de la válvula y actúa de la manera siguiente: si consideramos un electrón que se dirige del filamento hacia la placa y que choca contra la misma dando origen a un desprendimiento de electrones, dichos electrones, al abandonar la placa, se encuentran con la grilla supresora que está al mismo potencial

del filamento (negativo); como el electrón también tiene carga negativa, resultará que la grilla supresora lo rechaza obligándolo a volver a su punto de origen, es decir, a la placa.

Si ahora consideramos todos los electrones que se dirigen hacia la placa y si éstos al chocar contra ella producen desprendimientos de electrones, dichos electrones no podrán ya formar carga de espacio (nube electrónica) debido a la acción de la grilla supresora que los obliga a volver a la placa.

El agregado de un quinto electrodo al tetrodo, originó el pentodo, es decir, la válvula de radio de cinco electrodos. El pentodo desplazó el tetrodo de casi todas las funciones a que había sido destinado en los equipos de radio, aunque aún se emplean algunos tipos para trabajos especiales, tales como los amplificadores de baja frecuencia.

La válvula pentodo ha sido últimamente tan perfeccionada que existe un tipo determinado para cada uso. Se las emplea como amplificadoras de alta frecuencia, detectora, y como amplificadoras de baja frecuencia.

La figura 151 muestra en forma esquemática la disposición de los elementos de un pentodo.

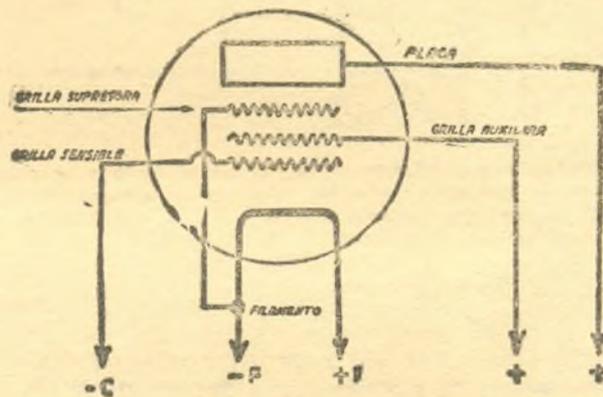


Fig. 151

35a. LECCION

Receptor de dos válvulas

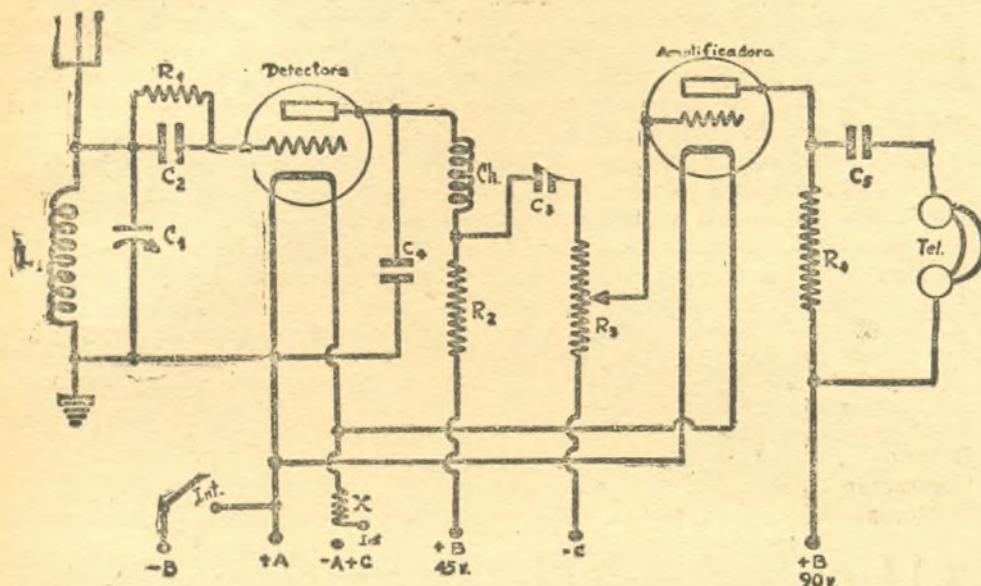
Hemos visto ya cómo trabaja un detector, es decir, un sistema capaz de demodular una señal de broadcasting. También estudiamos cómo trabaja un amplificador. Falta ahora ver cómo podríamos reunir ambos circuitos para obtener un aparato capaz de entregarnos señales de mayor magnitud comparadas a las que proporciona un simple detector.

Supongamos que la amplificación se produzca en baja frecuencia, es decir, que amplifiaremos las señales detectadas.

La amplificación de baja frecuencia puede realizarse por distintos métodos que estudiaremos en la próxima lección. La sección amplificadora que emplearemos en el receptor de dos válvulas es del tipo llamado AMPLIFICACION DE TENSION.

Estudiemos ahora cada parte del proyecto antes de dar los detalles

constructivos. Veamos el esquema de la figura 152. Tenemos el circuito sintonizado L_1 y C_1 , excitado por las señales captadas por la antena A. Para



X — Es una resistencia cuyos detalles no se dan en el texto y su valor es de 8 Ohms de alambre, que se le quitará cuando las pilas de filamento están un poco descargadas. Si se emplea un acumulador de 2 V., no es necesario su uso.

NOTA: Esto vale también para el esquema de la figura 154.

Fig. 152

una posición determinada, de C_1 , ocurrirá que el circuito sintonizado L_1 C_1 estará en condiciones de resonar a una frecuencia igual a la de una estación de broadcasting cuyo campo magnético variable ha inducido en la antena un voltaje determinado. En estas condiciones, la válvula detectora, la resistencia R_1 y el condensador C_2 detectarán la señal de manera que sobre la placa de la válvula tendremos impresas las señales detectadas. Si en el circuito de la placa, o sea después del choque Ch , conectamos la grilla de la válvula, la amplificadora "A", estaremos en condiciones de amplificar las señales impresas en el circuito de la placa. Como el circuito de la placa está conectado a un potencial positivo, si conectamos un potencial positivo a la grilla de la amplificadora ocurrirá que esta válvula quedará inutilizada por estar conectada a un potencial positivo con respecto al filamento. Para evitar este inconveniente, la conexión del circuito de placa de la detectora a la grilla de la amplificadora se hace a través de un condensador. Dicho condensador, por lo que vimos en lecciones anteriores, ofrece una resistencia infinita al pasaje de la corriente continua; en cambio, la reactancia capacitativa es relativamente baja para el "pasaje" de la corriente alternada. El condensador mencionado, (C_3 , debe ofrecer una reactancia muy baja a las bajas frecuencias. Para que la válvula amplificadora pueda trabajar como tal, habrá que conectarle un voltaje negativo con respecto al filamento. Este voltaje negativo dependerá del voltaje aplicado al circuito de placa de la misma.

Si ahora, de acuerdo a lo explicado en la lección 32 del número anterior, diseñamos el circuito de placa de la sección amplificadora, estaremos en condiciones de construir un receptor de dos válvulas formado por un circuito detector y un circuito amplificador de baja frecuencia. Las señales amplificadas podrán ser escuchadas en los teléfonos conectados en el

El circuito de la figura 153 se ha diseñado teniendo en cuenta las características de las válvulas.

CONSTRUCCION

Los materiales necesarios para la construcción de este receptor son los siguientes: una inductancia L_1 de 225 μh ; un condensador variable C_1 de 0,00035 μf (17 placas aproximadamente); un condensador fijo de mica, C_2 , de 0,00025 μf ; un condensador C_3 fijo tubular de 0,05 μf ; un condensador de mica, C_4 , de 0,0005 μf ; un condensador tubular, C_5 , de 0,5 μf ; una resistencia, R_1 , de 3 Mg.; una resistencia, R_2 , de 25.000 Ω ; una resistencia, R_3 , variable, de 100.000 Ω ; una resistencia, R_4 , de 25.000 Ω ; 2 zócalos de válvulas de 4 patitas, americano (UX); un Choque (Ch.) de 8.000 μh ; dos válvulas del tipo 30; un par de teléfonos; bornas para la antena, tierra y baterías; un interruptor doble para cortar la corriente de filamento y la corriente de placa; una batería de 90 Volts con derivación de 45 Volts o simplemente dos baterías de 45 Volts para los circuitos de placa; dos pilas del tipo utilizado en los timbres; una pila chica de linterna para el circuito de grilla de la amplificadora (batería C). Cable de conexiones, soldadura, tornillos, tuercas, etc.

El receptor puede montarse sobre una tablita de 30 x 20 de madera seca.

En la figura 153 se muestra el circuito constructivo del mismo aparato.

El funcionamiento de este receptor es exactamente igual al que ya describimos en la lección 31.

En la figura 154 aparece un esquema de un receptor de dos válvulas de un diseño más adelantado que utiliza exactamente los mismos materiales, a

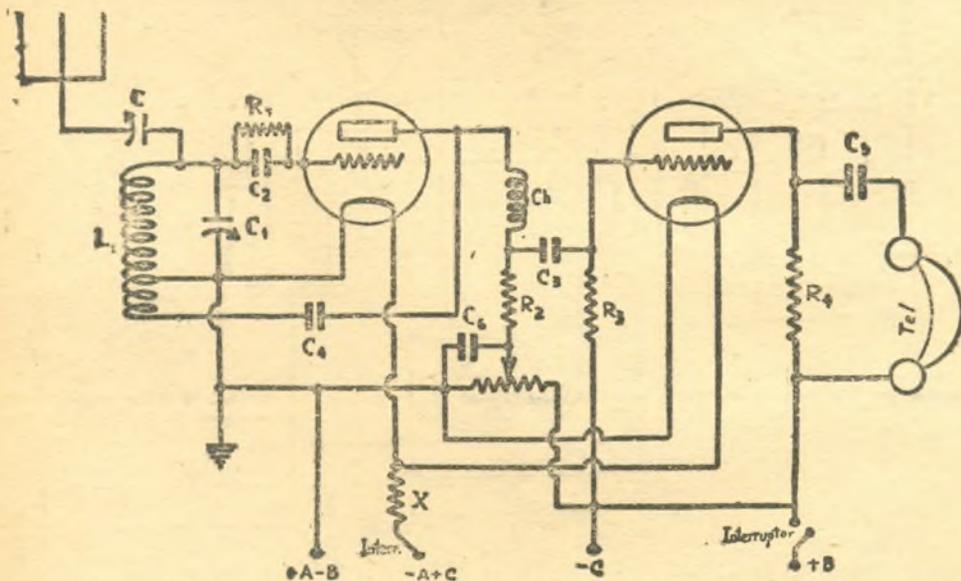


Fig. 154

excepción de las bobinas, el agregado de un condensador en el circuito de antena y una resistencia variable que actúa como control de volumen y control de regeneración y un condensador C_6 de 0,1 μf tubular.

Las ventajas que reporta el receptor de la figura 154 sobre el de la figura 152 son la enorme sensibilidad y la selectividad.

El funcionamiento de este receptor no lo explicaremos en esta lección por basarse en un principio que todavía no se ha explicado. Sólo nos ocuparemos de su construcción y manejo.

actuar como amplificadora de voltaje cuyas frecuencias podían ser de las más elevadas a las más lentas. Pues veamos ahora cómo podremos aprovechar la amplificación efectuada por la válvula y poder llevarla a un sistema tal que podamos transformarlas en sonido.

Estamos hablando de voltajes amplificados, pero no debemos olvidarnos que en el circuito de placa se desarrolla una energía (watts) de un determinado valor. ¿Cómo se obtiene esa energía? Recordemos que, debido a las variaciones de voltaje en el circuito de grilla sobre la carga del circuito de placa se producen variaciones en la intensidad de la corriente de placa; estas variaciones de corriente de placa producen sobre los extremos de la carga de placa caídas de voltaje proporcionales a las intensidades instantáneas ($e_i = I_i \times R_i$), de manera que si tenemos una intensidad de corriente y un voltaje lógicamente sobre el circuito de placa se desarrolla una energía eléctrica variable con la frecuencia de la corriente.

Por esta razón podemos excitar un par de teléfonos, siendo la intensidad del sonido producido por los teléfonos tanto mayor cuanto mayor sea la energía en juego en el circuito de placa.

SISTEMAS DE AMPLIFICACION DE BAJA FRECUENCIA

En la práctica se emplean varios métodos de amplificación según las necesidades a que está destinado el sistema amplificador.

Si en el circuito de la figura 156 conectamos en el circuito de la placa

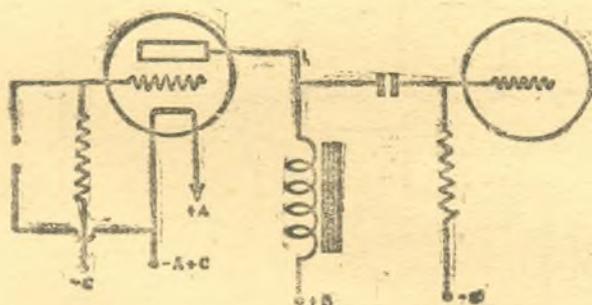


Fig. 156

una inductancia en lugar de una resistencia de carga, resultará que, debido a las variaciones de la corriente de placa, se producirá en la inductancia el fenómeno de la autoinducción. Por lo tanto, esta inductancia se comportará como una reactancia inductiva. Pero como esta reactancia inductiva, su bobinado posee resistencia óhmica y también capacidad distribuida entre las espiras resultará que no será una reactancia inductiva pura, sino una impedancia. Por lo tanto, podemos decir, sin temor a equivocarnos, que podemos conectar, en lugar de una resistencia de carga de placa, una impedancia cuyas características estudiaremos más tarde.

Acabamos de ver que es posible sustituir una resistencia que actúa como carga de un circuito de placa de una válvula amplificadora por una impedancia. Las impedancias empleadas para estos usos van arrolladas sobre un núcleo de hierro laminado, de características especiales.

En la figura 157 tenemos nuevamente la lámpara amplificadora de la figura anterior, en cuyo circuito de placa se ha conectado un bobinado. Cuando la corriente variable que atraviesa este bobinado produce un campo magnético también variable, es capaz de inducir una fuerza electromotriz inducida a otro bobinado próximo al primer voltaje. Por lo tanto, podemos transferir energía a otro circuito. Si el número de espiras de la inductancia del circuito de placa es igual al número de espiras del circuito inducido, se puede demostrar que en ambos el voltaje es igual, es decir, el voltaje inductor y el

inducido. Si en cambio el circuito inductor posee la mitad del número de espiras del circuito inducido, dicho circuito tendrá el doble del voltaje del

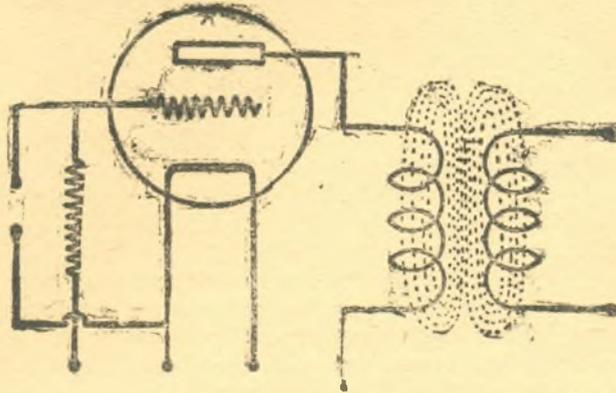


Fig. 157

circuito inductor. Llamemos PRIMARIO al circuito inductor y SECUNDARIO al circuito inducido. Si el número de espiras del secundario es mayor que las del primario, resultará que es posible amplificar un voltaje variable aplicado al primario.

El bobinado primario y el secundario constituyen lo que técnicamente se llama un TRANSFORMADOR.

De todo lo que acontece se deduce que si a un primario de transformador se le conecta o se aplica un voltaje variable, igual, por ejemplo, a un Volt (que varía de cero a 1 Volt, cero — 1, cero, etc.), resultará que podremos obtener sobre los extremos del bobinado secundario un voltaje variable de 3 Volts si el número de espiras de éste es 3 veces mayor que el del bobinado primario.

Como estos bobinados deben ofrecer una reactancia inductiva muy elevada, resultará que será preciso usar un transformador con núcleo de hierro laminado.

De esta manera podríamos diseñar un circuito amplificador tal que fuera posible utilizar un transformador. Veamos entonces la figura 158, en la cual tenemos representada la placa de una lámpara detectora en cuyo circuito se ha conectado el primario de un transformador y el secundario del mismo circuito de grilla de una lámpara amplificadora.

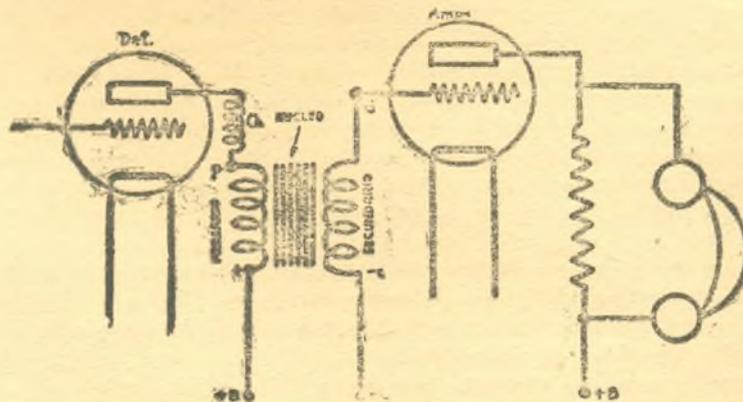


Fig. 158

La válvula amplificadora es exactamente igual a la empleada en los circuitos de las figuras 152 y 154, con la única diferencia que la resistencia R_2 vendría a ser el primario del transformador: la R_2 el secundario

del mismo y el condensador C_3 sustituye el campo magnético generado por el primario del transformador. Pero el empleo del transformador es más ventajoso que el sistema utilizado en las figuras antes mencionadas, por la siguiente razón: utilizando transformador se puede duplicar, triplicar, etc., el voltaje del primario de manera que sobre la grilla de la lámpara amplificadora podemos aplicar un voltaje variable mucho mayor que el aplicado en el primario; en cambio en el sistema de acoplamiento entre la placa de la detectora y la grilla de la amplificadora de tipo resistencia (R_2) condensador (C_3) y resistencia (R_3) no se produce ninguna amplificación sino que, por el contrario, como veremos más tarde, el voltaje variable que se genera sobre la resistencia R_2 no se halla íntegro sobre R_3 , sino que solamente un voltaje un poco menor.

Los transformadores empleados en los circuitos amplificadores se consiguen en el comercio de acuerdo a la relación de transformación elegida, entendiéndose por relación de transformación la relación existente entre el número de espiras del primario con respecto al secundario. Por lo tanto, si se desea construir un amplificador en cuyo sistema de acoplamiento se quiera emplear un transformador tal que el voltaje en el circuito secundario sea el doble que el del primario, se pedirá un transformador de relación 1 a 2; de 1 a 3 cuando el voltaje del secundario deberá ser el triple del primario, etc.

Si el lector, en las experiencias que realizara con los receptores de las figuras 152 y 154, deseara utilizar un transformador de los tipos mencionados, en lugar del sistema $R_2 C_3 R_3$, podrá emplearlos.

Las ventajas que reportará el empleo del transformador sobre el sistema antes mencionado estriban en la mayor amplificación que es posible obtener.

CALCULO DE UN AMPLIFICADOR DE TENSION O DE VOLTAJE

Uno de los sistemas más empleados en la actualidad por sus enormes aplicaciones es el llamado amplificador de tensión. Este requiere ciertos conocimientos de su funcionamiento para estar en condiciones de realizar diseños que trabajen en la práctica, de una manera correcta.

Llámanse amplificador de tensión a un sistema tal que es capaz de aumentar en amplitud voltajes pequeños tanto para frecuencias sumamente lentas como para las más elevadas. También se le da el nombre de amplificador de tensión por el hecho de que no son capaces de entregar energía como lo haría un amplificador destinado a alimentar altoparlantes.

Un circuito típico de amplificador de tensión, es el que indica la figura 159. Dicho circuito está formado por 3 etapas de amplificación destinadas a amplificar un pequeñísimo voltaje variable aplicado al circuito de grilla de la primera válvula. Dicho voltaje variable es amplificado por la válvula V_1 y transferido por intermedio de $R_2 C_1 R_3$ a la válvula V_2 que la amplifica a su vez. Por intermedio de $R_4 C_2$ y R_5 se transfiere el voltaje amplificado por V_2 a la válvula V_3 que finalmente la amplifica y entrega a un par de teléfonos conectados en su circuito de placa. La señal cuyo voltaje variable amplificado por las tres etapas es oída en los teléfonos, tiene una amplitud mucho mayor que la aplicada a la grilla de la primera válvula del amplificador.

Vamos a ver cómo se diseñan estos amplificadores, para lo cual estudiaremos todo el circuito de placa de una válvula en forma general, a fin de precisar el valor que debe tener la resistencia que actúa como carga de placa en el circuito de placa de la válvula.

La fórmula que nos sirve de base para hallar dicho valor es la que nos da también el valor efectivo del factor de amplificación de la válvula.

$$\eta = \frac{r_p \times \mu}{r_p + R_p} \dots\dots\dots (55)$$

donde η (*) es la amplificadora efectiva; r_p es la resistencia de carga de placa; R_p es la resistencia interna de la válvula; μ es el factor de amplificación de la válvula.

Esta fórmula nos permite calcular el valor máximo que una válvula puede amplificar. Dicho valor, como veremos en seguida, en ningún momento debe ser superior a $2/3$ del factor de amplificación de la válvula. Para que esta condición se cumpla, la resistencia de carga de placa debe ir igual a 2 veces el valor de la resistencia interna de la válvula.

Supongamos que las válvulas empleadas en el amplificador de la figura 159, sean del tipo 30, cuyas características dimos en la lección anterior. Veamos en las características de dicha válvula que la resistencia interna de la

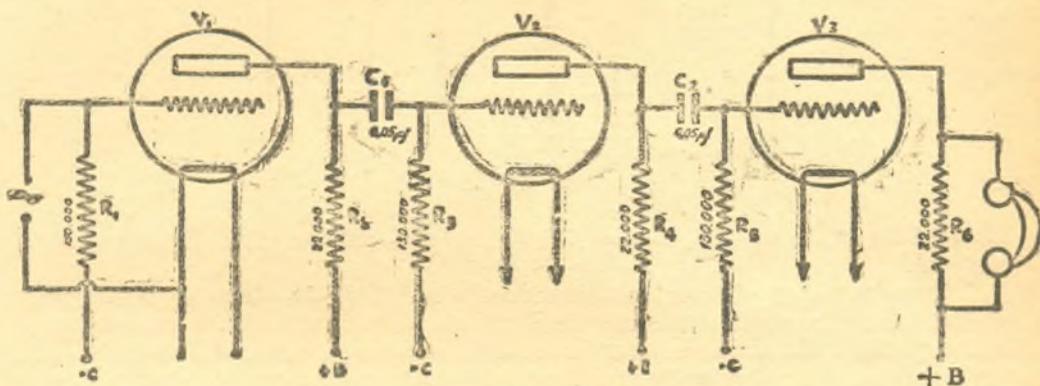


Fig. 159

misma es $R_p = 11.000 \Omega$ y el factor de amplificación: 9,3 para un potencial negativo en el circuito de grilla de $-4,5$ Volts y un voltaje de placa de 90 Volts. Ahora bien; apliquemos la fórmula 55. Si de acuerdo a lo dicho anteriormente la resistencia de carga de la válvula es igual a dos veces la resistencia interna, tenemos que $R_p = 11.000 \Omega$; r_p será 22.000Ω . De esta manera podremos fijar, desde ya, los valores de la resistencia de placa de 3 válvulas puesto que son los que corresponden para que la válvula trabaje correctamente.

Veamos ahora cuál es el factor de amplificación efectivo de cada válvula, ya que dijimos, que las tres resistencias son del mismo tipo, y sustituyamos los valores en la fórmula 55.

$$\eta = \frac{r_p \times \mu}{r_p + R_p} = \frac{11.000 \times 9,3}{11.000 + 22.000} = \frac{102300}{33.000} = 6,2$$

o sea η 6,2, es decir, exactamente los $2/3$ del valor del factor de amplificación, o sea $\frac{2}{3} \times 9,3 = 6,2$.

Vemos entonces que para que una válvula del tipo 30 trabaje correctamente como amplificadora debe tener una resistencia de carga de placa de un valor igual a 22.000Ω y por lo tanto el factor de amplificación efectivo será igual a 6,2. Si suponemos que las tres etapas de amplificación trabajarán exactamente en las mismas condiciones, el factor de amplificación total sería 3 veces el valor de una, es decir: $\eta_1 = 6,2 \times 6,2 = 238$. Esto significa que si aplicamos una señal $0,005$ Volt variable a la grilla de la válvula V_1 obtendremos sobre la placa de la válvula V_3 un voltaje variable de una magnitud igual a $238 \times 0,005 = 1,19$ Volts.

(*) η se lee "eta".

Veamos ahora cómo se calculan los sistemas formados por el condensador C_1 y la resistencia R_2 y el similar C_2 y R_6 . Veamos en la figura 160, en la cual tenemos representado un condensador y una resistencia conectados al

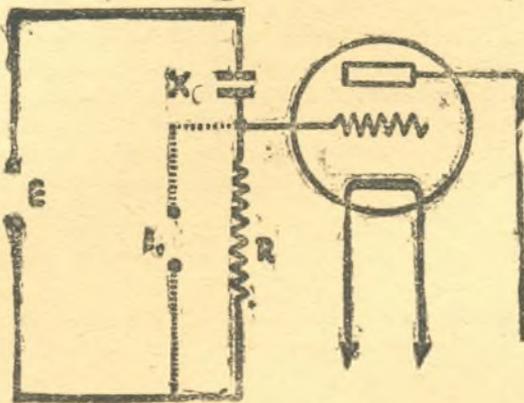


Fig. 160

circuito de grilla de una válvula. Tratemos de explicar cómo funciona este sistema.

Cuando en un sistema amplificador la señal de la placa se transfiere al circuito de la grilla de la válvula siguiente por intermedio de un condensador y una resistencia, es muy importante conocer el valor del voltaje que realmente se obtiene sobre la resistencia de grilla puesto que el condensador, cuya reactancia es X_c , está en serie con la resistencia R (figura 160). Al valor que da la relación que existe entre el voltaje aplicado al sistema X_c , R y el voltaje efectivo que se obtiene sobre la resistencia R se llama EFICIENCIA DE ACOPLAMIENTO.

Podemos escribir una expresión que nos relaciona precisamente la eficiencia de acoplamiento, el valor de la resistencia R y de la resistencia capacitativa del condensador, de manera que podemos escribir:

$$\frac{E_1}{E} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} \dots \dots \dots (56)$$

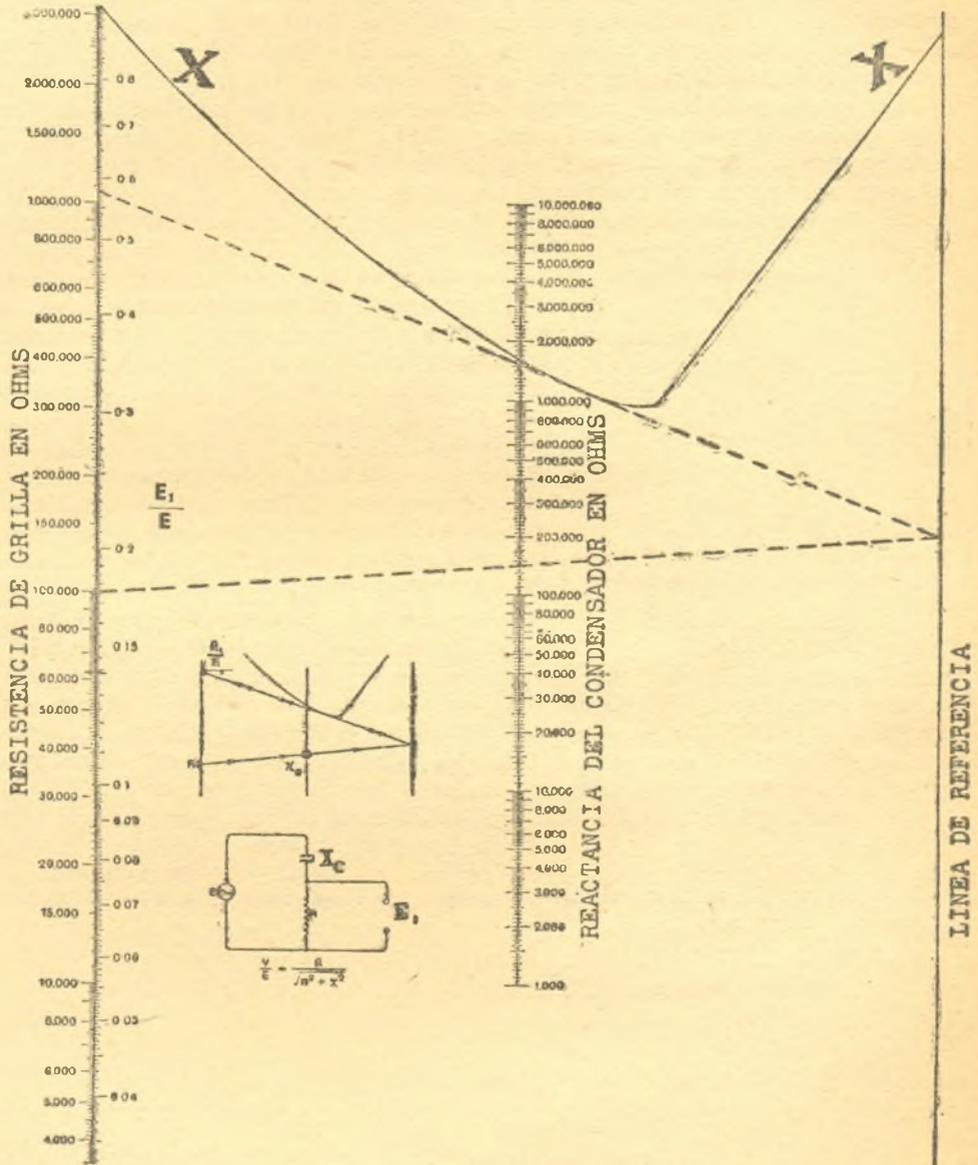
donde E es el voltaje variable aplicado a los extremos del circuito formado por el condensador y la resistencia del circuito de grilla de la válvula amplificadora; R es el valor de la resistencia que, como veremos en seguida, recibe el nombre de resistencia de escape y X_c es la reactancia capacitativa del condensador.

Esta fórmula tiene una gran aplicación porque nos da directamente cuál es el voltaje aplicado sobre la resistencia R . Esto tiene su importancia si recordamos que la reactancia capacitativa del condensador de acoplamiento varía con la frecuencia del voltaje aplicado. Veamos un ejemplo para que el lector tenga una idea más clara de lo que acabamos de decir. Supongamos que R tenga un valor de 100.000 Ω y el condensador una capacidad de 0,02 μf . ¿Cuál será la relación de voltaje que quedará aplicada sobre los extremos de la resistencia R si la frecuencia del voltaje aplicado en los extremos del sistema es de 50 Hertz? Como en la fórmula 56 necesitamos conocer el valor de la reactancia capacitativa del condensador, encontraremos que $X_c = 150.000$ Ohm si buscamos dicho valor en el Abaco N.º 10. Sustituamos ahora los valores en la fórmula 56 y tendremos:

$$\frac{R}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} = \frac{100.000}{\sqrt{100.000^2 + 150.000^2}} = \frac{100.000}{\sqrt{32.500.000.000}} = \frac{100.000}{180.554} = 0,554 \text{ o sea que } \frac{E_1}{E} = 0,554$$

ABACO N.º 15

Eficiencia de Acoplamiento para Condensador y Resistencia de Grilla



Esto quiere decir que si el valor de $E = 1$ Volt, el voltaje E_1 será igual a 0,62 cuando el valor de la frecuencia de ese voltaje sea 50 ciclos por segundo.

Este cálculo es muy importante tenerlo en cuenta, pues debe tenerse mucho cuidado de que dicho valor no exceda en ningún momento del 90 o/o (0,90). Este cálculo se simplifica si se emplea el ábaco N.º 15. Este ábaco se puede emplear de la siguiente manera: en el ejemplo calculado se fija sobre la escala de valores de resistencia de grilla el valor 100.000 Ω y sobre la escala de reactancias capacitivas 150.000 Ω . Se unen los dos puntos

con una línea recta hasta cortar la línea de referencia. Desde el punto en que la línea trazada corta a la línea de referencia, se traza una tangente a la curva XX, que prolongada hasta cortar la escala, que da la relación

de $\frac{E_1}{E}$, nos dará precisamente el valor calculado. Hemos calculado ya cuál

es la relación de voltaje que debe existir entre el sistema formado entre el condensador de acoplamiento y la resistencia de grilla y el voltaje aplicado a la grilla; veamos entonces cómo se calcula o, mejor dicho, cómo se fijan los valores del condensador y de la resistencia de grilla.

En este caso debemos conocer cuál es la constante de tiempo de descarga que corresponde al condensador elegido para poder calcular cuál es la resistencia de grilla que permitirá la descarga del condensador cuando se haya aplicado entre sus armaduras un voltaje variable.

Si observamos la figura 161 en la cual tenemos un condensador y una resistencia conectada en serie y conectamos a dicho sistema una fuente de fuerza electromotriz de corriente alternada.

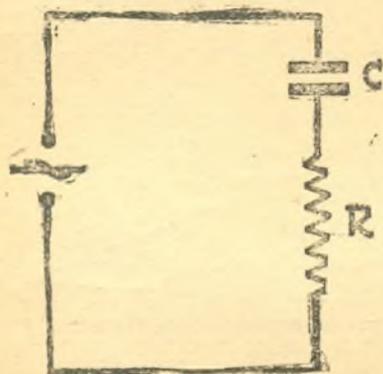


Fig. 161

Supongamos en un caso determinado que el condensador se carga y luego se descarga cuando la polaridad de la fuerza electromotriz haya cambiado de sentido. Supongamos que cuando la fuente de fuerza electromotriz vuelve a tener la misma polaridad que cargó el condensador de manera que éste volverá a cargarse. Pero como el condensador no se había descargado completamente, su carga no comenzará desde cero, sino desde un cierto valor.

Supongamos nuevamente que la polaridad de la fuente de fuerza electromotriz vuelva a invertir su sentido. El condensador empezará a descargarse nuevamente a través de la resistencia R, pero antes de que dicha descarga sea completa el sentido de la polaridad ha vuelto al sentido primitivo, de manera que volverá a cargar el condensador. Como éste ha retenido una buena parte de la carga y superior en valor a la primera descarga, resultará que la carga recibida o mejor dicho admitida, será mucho menor. Si el fenómeno de carga y descarga del condensador se repite unas cuantas veces más, éste no recibirá más carga y esto significa que no descargará más energía a través de la resistencia R, esto significa también que ninguna caída de tensión se producirá entre sus extremos; por lo tanto se producirá el fenómeno de BLOQUEO del circuito. Si entre la conexión que une el condensador con la resistencia se conecta la grilla de la válvula amplificadora ésta no amplificará debido al hecho de que no se producirá ninguna variación de voltaje sobre la grilla.

El lector puede deducir, por lo dicho, que es muy importante poder calcular la constante de tiempo de descarga con el fin de evitar el uso de un condensador cuya capacidad es superior al valor correcto.

La fórmula que determina el valor de la constante de tiempo de descarga del condensador está dada por la fórmula 57 y es la siguiente:

$$T = R \times C \dots\dots\dots (57)$$

Donde T; es el que da el valor del tiempo de descarga.

R; es el valor de la resistencia de escape en Megohms.

C; es el valor del condensador en Microfarad.

Hay una tabla que da el valor de las constantes de tiempo para frecuencias de corrientes determinadas y las cuales se tiene un interés especial de amplificar. Dicha tabla es la siguiente:

T A B L A I X

FRECUENCIA	CONSTANTE "T"
10	0,01
50	0,0065
100	0,0032
500	0,001
1000	0,0005
2000	0,00025
3000	0,00016
4000	0,00012
5000	0,0001
6000	0,00008
7000	0,00007
8000	0,00006

Como en todos los casos de cálculos de amplificadores de baja frecuencia, se harán para usos en la radiotelefonía, fijaremos el valor de la capacidad y buscaremos el valor que le corresponde a la resistencia de escape. Esto se puede realizar sin dificultad si fijamos de acuerdo al valor que da la Tabla IX para 50 Hertz. La constante de tiempo que le corresponde es de $T = 0,0065$. La fórmula que usaremos entonces será:

$$R = \frac{T}{C} \dots \dots \dots (58)$$

Veamos un ejemplo para que los lectores se familiaricen con la fórmula (58):

Supongamos tener un condensador de 0,05 microfarad y queremos saber qué resistencia de escape se puede conectar para que el amplificador esté en condiciones de reproducir frecuencias de 50 Hertz y teniendo en cuenta que la eficiencia del acoplamiento no puede ser superior a 90 o/o. Apliquemos la fórmula 58.

$$R = \frac{0,0065}{0,05} = 0,13 \text{ Megohm o sea } 130.000 \Omega$$

Veamos si esto es posible, puesto que hay que tener en cuenta que la eficiencia de acoplamiento no puede ser mayor del 90 o/o.

Calculemos de acuerdo a la fórmula 56 ó apliquemos el Abaco N.º 15.

Veamos cuál es la reactancia del condensador de 0,05 microfarad a 50 Hertz; según el Abaco 10, el valor de la reactancia es aproximadamente 60222 Ohms y según el Abaco 15 tenemos un valor de 89 o/o lo que quiere decir que el valor de la capacidad es excelente.

Supongamos que disponemos en nuestro laboratorio de todos los valores calculados; entonces estaremos en condiciones de calcular el amplificador con el máximo de rendimiento y trabajando en las mejores condiciones técnicas.

Volvamos entonces a la figura 159 y fijemos los nuevos valores calculados y podremos así dejar terminado el diseño de un amplificador de tensión.

El factor efectivo de amplificación ya no será el calculado sino que un poco menor, puesto que el lector habrá notado por lo que dijimos, que no es posible hacer que la eficiencia de acoplamiento sea mayor que el 90 o/o; por lo tanto, al valor calculado de 6,2 por etapa debemos restarle el 10 o/o, o sea que el valor efectivo será de 5,58.



37a. LECCION

Instrumentos de medición - Teoría - Distintos usos

Desde los tiempos en que se descubrieron los primeros fenómenos originados por la corriente eléctrica se trató de buscar la manera de poder comparar los fenómenos originados por distintas intensidades de corrientes eléctricas. Es claro que entonces no se pensó precisamente en las intensidades de la corriente eléctrica, sino simplemente se buscó la manera de ver impresas en una escala para la comparación de los fenómenos que se manifestaban claramente.

La brújula fué empleada desde hacía muchos años para la navegación y Ampere observó que si se acercaba una brújula cerca de un conductor recorrido por una corriente, se desviaba de su posición de equilibrio. Dicha desviación dependía y era mayor o menor cuanto mayor era la "energía" entregada al circuito.

Todos nuestros lectores ya están familiarizados con dicho fenómeno y por lo tanto no es necesario explicar la causa por la cual dicha brújula se desvía de su posición de equilibrio.

Como en la época que se hicieron los primeros ensayos de esta naturaleza no existían fuentes de alimentación tales que aseguraran por un tiempo la constancia del valor de la fuerza electro-motriz, resultaba que debían recurrir a distintos sistemas por aquel entonces usados. La fuente de energía más común era una botella de Leyden descubierta por Leyden y que era en realidad un condensador que era cargado por alguna máquina que producía energía eléctrica por el frotamiento de dos cuerpos de distinta naturaleza. Como la descarga de la botella Leyden era casi instantánea, resultaba que la observación debía hacerse prestando mucha atención a la desviación que experimentaba la aguja de la brújula, cuando la corriente que atravesaba el circuito daba origen a un campo magnético y que tenía la misma duración de la corriente eléctrica.

Los lectores imaginarán que en estas condiciones no era posible tener muy en cuenta cualquiera de los valores que se obtenían en la escala de la brújula. Lo único que podía verse con mucha claridad era que si se conectaban en serie varias botellas Leyden la descarga era de mayor magnitud, dando origen a que la desviación de la aguja de la brújula sea más brusca y de mayor magnitud.

Cuando en el año 1827 apareció la pila eléctrica inventada por Alejandro Volta, nuevos horizontes se presentaron en el campo de mediciones eléctricas. Se salvaba de esta manera una de las más grandes dificultades y que era la necesidad de una fuente de fuerza electro-motriz que diese un voltaje más o menos constante y de cierta duración.

Galvani y Volta, durante sus experiencias efectuadas con el fin de encontrar la razón por la cual la corriente, que atravesaba distintos tipos de conductores, observaron que la intensidad era distinta; utilizaron un instrumento que más tarde se llamó galvanómetro (en honor de Galvani) y que se utilizaba como principio la observación de Ampere. La parte móvil la constituía una brújula y el "conductor" una bobina (figura 162).

La figura 162 A muestra el galvanómetro tal como se usó en los primeros tiempos.

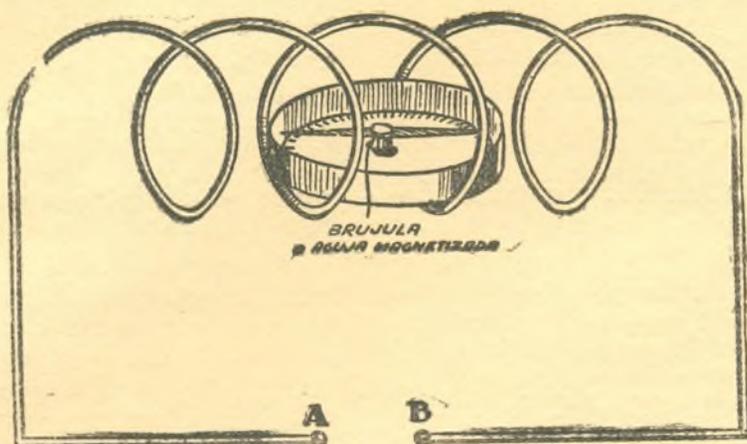


Fig. 162

En realidad, el instrumento de medición empleado por Galvani y Volta todavía se emplea para algunos usos, debido a su gran sensibilidad.

En la figura 162 se han marcado las bornas del instrumento con las letras "A" y "B" y el conductor con que ha sido realizada la bobina es de alambre grueso; la aguja magnética era del tipo empleado en las brújulas livianas y suspendidas por su centro de gravedad. Para poder utilizar dicho instrumento, la brújula orientaba sobre el eje Norte-Sud magnético terrestre.

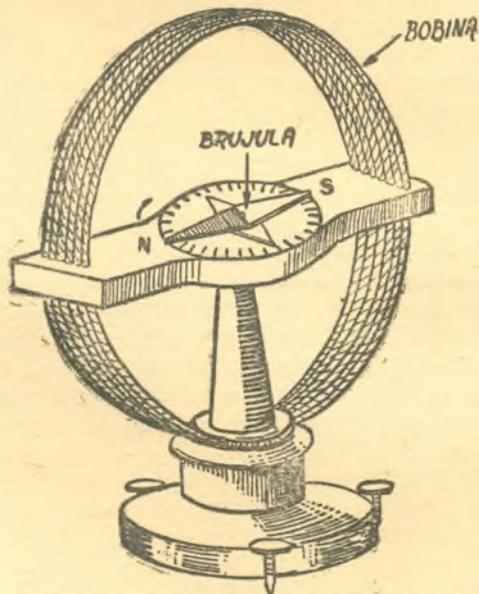


Fig. 162 A

Durante los ensayos que precedieron al descubrimiento de la ley de Ohm, George Simón Ohm, el descubridor de dicha ley, construyó un tipo de galvanómetro que le permitía hacer mediciones de comparación con bastante exactitud. Los ensayos efectuados por Ohm estaban basados en los mismos que los efectuados por Galvani y Volta. Ohm preparó metales de todos los tipos posibles de la misma longitud y de la misma sección. Luego

hizo pasar a través de ellos la corriente de una pila eléctrica. Observó que cada metal era atravesado por una corriente distinta y que se traducía por una mayor o menor desviación de la aguja del galvanómetro. Observó después de agrupar los metales de acuerdo a las divisiones de la escala del instrumento, que si tomaba una longitud doble de la primera medición el galvanómetro indicaba una lectura doble y que era también el doble de la desviación de la aguja, etc.

Ohm, después de realizar con todo cuidado todas las experiencias respecto a resistencia de conductores, llegó a la conclusión de la tan conocida ley que lleva su nombre.

Por lo pronto, los lectores ven que, gracias a la ayuda de un instrumento de medición, fué posible arribar a una ley que es la base de la electricidad y que dió origen a toda la Electrotécnica.

Pero a pesar de lo útil que resultó el instrumento construido por Ohm, no fué suficiente para llenar las necesidades para mediciones, no ya de comparación solamente, sino del tipo exclusivo para mediciones.

Kohlrausch empleó un galvanómetro similar al empleado por Ohm y repitió todas las experiencias que dieron como resultado la Ley de Ohm.

Lo más importante de sus experiencias estriba en que Kohlrausch descubrió la relación que existe entre la longitud y la sección de un conductor con respecto a la resistencia. De esta manera dió forma definitiva a la Ley de Ohm.

D'Arsonval, tratando de perfeccionar el galvanómetro empleado por todos los experimentadores, y sobre todo evitar la acción del campo magnético terrestre, llegó a una conclusión feliz que aún hoy es la base de todos los instrumentos de medición de corriente continua.

El instrumento construido por D'Arsonval estaba formado por un imán fijo y potente, de manera que era imposible que el débil campo magnético terrestre pudiera influenciar sobre el campo magnético del imán y en lugar de utilizar una bobina fija como en el caso del galvanómetro (fig. 162 y 162 A) construyó una bobina de un tamaño muy pequeño y sujeta sobre un eje de manera tal que puede girar sobre él cuando una corriente eléctrica lo atraviesa.

En la figura 163 se pueden ver con toda claridad los detalles constructivos del galvanómetro construido por D'Arsonval.

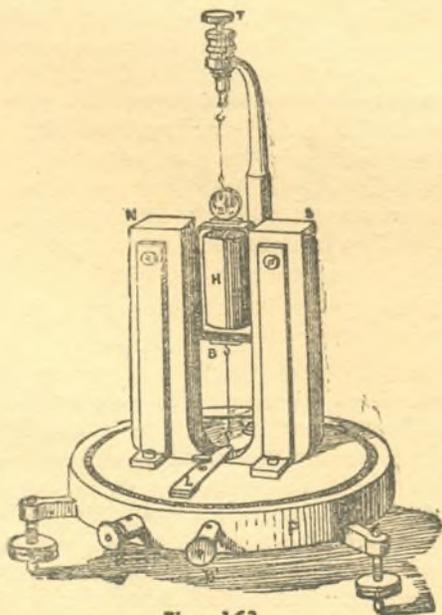


Fig. 163

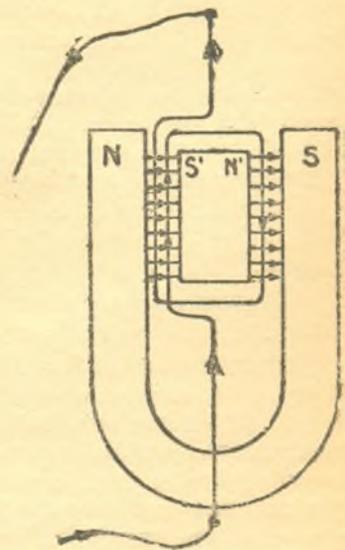


Fig. 163 A

La sensibilidad acusada por este galvanómetro es muy grande, pues aún en algunos laboratorios donde se trabaja con corrientes alternadas o compuestas se lo utiliza para obtener oscilogramas fotográficas; veamos pues, cómo trabaja.

Entre los polos norte y sur del imán se ha colocado un cilindro de hierro dulce "H" de un tamaño un poco menor que la bobina "B". Sobre la bobina se ha pegado un pequeño espejo "E". El sistema formado por el espejo y la bobina están sujetos por su eje por medio de un hilo delgado de plata cuyos extremos están sujetos a una lámina elástica "L" y a un tornillo regulable "T". La bobina está colocada entre los polos del imán y el cilindro de hierro dulce de manera tal que en ningún momento llega a tocar las piezas antes mencionadas; por lo tanto, entre el imán y la pieza de hierro dulce se forma un entre hierro ex profeso a fin de reforzar el campo magnético que actúa sobre la bobina.

Como se ve en la figura 163, el tornillo regulable "T" está fijado sobre una varilla curva y fijada por la parte inferior a una base de material aislante "P". Sobre la misma base se encuentran fijados el imán y la lámina "L". El cilindro de hierro dulce está fijado a la varilla que sujeta al tornillo "T". La base que contiene el codo lleva tres tornillos regulables a manera de pies a fin de colocar la base en posición perfectamente horizontal. Como el imán y todas las otras piezas que componen el conjunto del galvanómetro se han fijado en una posición vertical con respecto a la base, resulta que, una vez regulados los tornillos de la base con la ayuda de un nivel esférico, el galvanómetro está en condiciones de entrar en función.

En los tornillos B" y B' tenemos los contactos en la bobina.

Si recordamos lo dicho en la Lección 33a., resultará fácil para los lectores darse una idea exacta de cómo funciona el galvanómetro descripto.

Si por la bobina circula una corriente determinada, ésta generará en los extremos de la bobina un campo magnético con sus respectivos polos norte y sur (Fig. 163 A). Si los polos así generados quedan enfrentados con los polos del imán, y si éstos son del mismo polo que los de la bobina, ésta girará sobre su eje debido a la repulsión de los polos magnéticos; y si los polos enfrentados son de polos contrarios, la bobina girará en sentido contrario al anterior, pero por efecto de la fuerza de atracción.

Los esfuerzos de atracción y de repulsión dependen de la intensidad de los polos magnéticos generados por la intensidad de la corriente que atraviesa la bobina.

El lector creará muy lógico que, a mayor intensidad de corriente corresponda una mayor fuerza de atracción o repulsión de la bobina con respecto al imán. Si el lector tuviese la suficiente paciencia como para construirse un galvanómetro de este tipo podría verificar durante la práctica con el mismo que la desviación de la bobina con respecto a su posición de equilibrio es perfectamente proporcional a la intensidad de la corriente que atraviesa la bobina.

Veamos ahora cómo D'Arsonval pudo obtener lecturas con su galvanómetro.

En la figura 164 se muestra, de una manera esquemática cómo se efectúan las lecturas en el galvanómetro. Desde el centro de una escala de segmento de círculo se coloca un pequeño foquito cuya luz pasa a través de una ranura; por dicha ranura parte un haz de luz que ilumina el espejo colocado sobre la parte superior de la bobina. Si la bobina no es atravesada por ninguna corriente eléctrica, estará en su posición de reposo, de manera que el mismo haz de luz que ha partido desde el centro de la escala vuelve a ella, de manera que el ángulo de desviación es cero. Pero en el mismo instante en que la bobina es atravesada por una intensidad de corriente eléctrica y por pequeña que ésta sea, la bobina se desviará de su posición de re-

poso dando origen a que el haz de luz que ilumina el espejito sea reflejado al costado del centro de la escala. Por lo tanto, el lector se dará cuenta in-

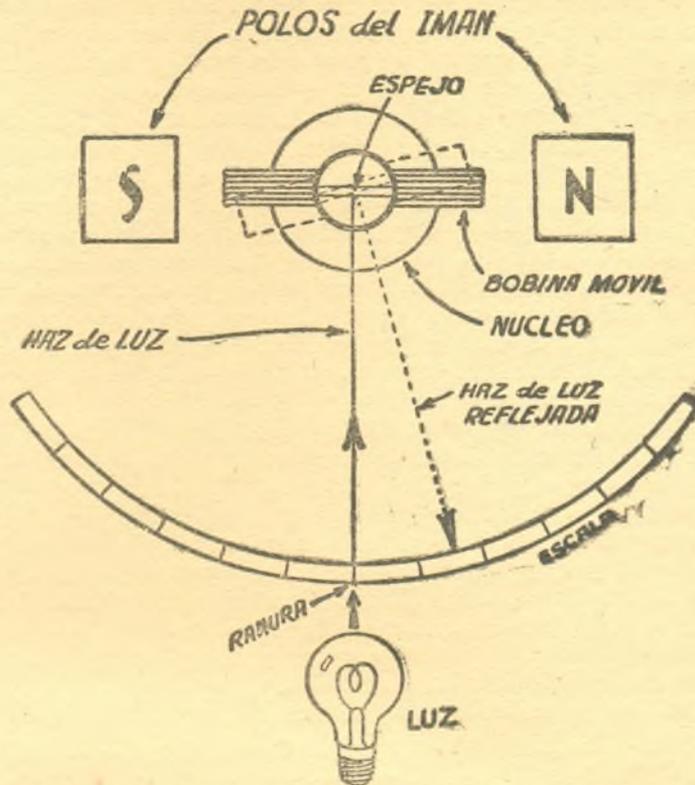


Fig. 164

mediata de que por la bobina está pasando una intensidad determinada de corriente. Si la intensidad de la corriente es de sentido contrario al caso anterior y de la misma intensidad resultará, que el ángulo de desviación en ambos casos es exactamente el mismo, pero de sentido contrario.

Este galvanómetro descrito se lo conoce con el nombre de galvanómetro de Deprez-D'Arsonval.

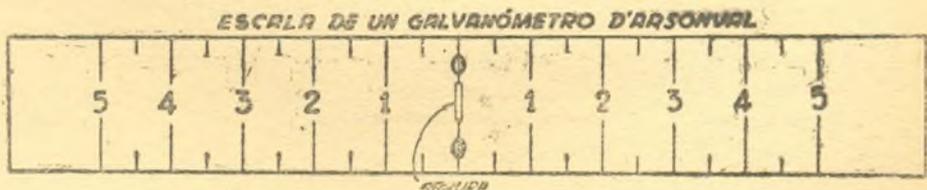


Fig. 164 A

En el principio de funcionamiento del galvanómetro arriba descrito se basan todos los instrumentos de medición magnéticos empleados actualmente en la práctica.

Dos países han trabajado constantemente en el perfeccionamiento de los instrumentos de medición: y tal es así, que actualmente ambos países se disputan la gloria de haber sido los primeros en hallar la manera de construir instrumentos que en la práctica sean exactos y de un costo muy reducido.

En Francia, Chauvin y Arnoux; y en Estados Unidos de Norte América, Weston, dieron al mundo experimentador los primeros instrumentos de

medición del tipo comercial de gran utilidad y poco después Siemens en Alemania.

En aquellos tiempos (alrededor de los años 1855), los laboratorios eléctricos se veían muy enriquecidos con la aparición de los nuevos instrumentos de medida, al extremo que fué el punto de partida de todos los descubrimientos que dieron la base definitiva a la electrónica.

Veamos ahora cómo está construido un instrumento del tipo moderno y empecemos por "bautizarlo". Dijimos que la corriente que atravesaba la bobina originaba un campo magnético en la bobina, de manera que el movimiento de la bobina con respecto a su posición de reposo depende de la intensidad de la corriente que la atraviesa. Esto quiere decir también que si marcamos una escala de manera tal que para una misma resistencia del circuito se aumente o se disminuya la intensidad de la corriente variando los elementos de pila de las mismas características, sabremos que para una f.e.m. de 1 Volt tenemos una desviación determinada; para 2 Volts otra mayor; para 3, etc., ¿qué es lo que marcaríamos en la escala o, mejor dicho, qué nos indicaría el instrumento?

Evidentemente, el lector podrá adivinar que se trata de un AMPERIMETRO, pues éste nos indica qué desviación corresponde para una determinada intensidad que atraviesa la bobina móvil.

En la figura 165 se ven las piezas polares empleadas para la construcción de amperímetros. En primer término, vemos el imán empleado que es de un tipo especial y muy potente capaz de generar un campo magnético muy intenso a fin de dar al amperímetro el máximo de sensibilidad.

Como los polos del imán por razones de costo de preparación se los hace en forma de herradura, se necesita agregar las piezas polares a fin de reducir la reluctancia del circuito magnético.

Según puede verse en la figura 165 A, tenemos el imán empleado en

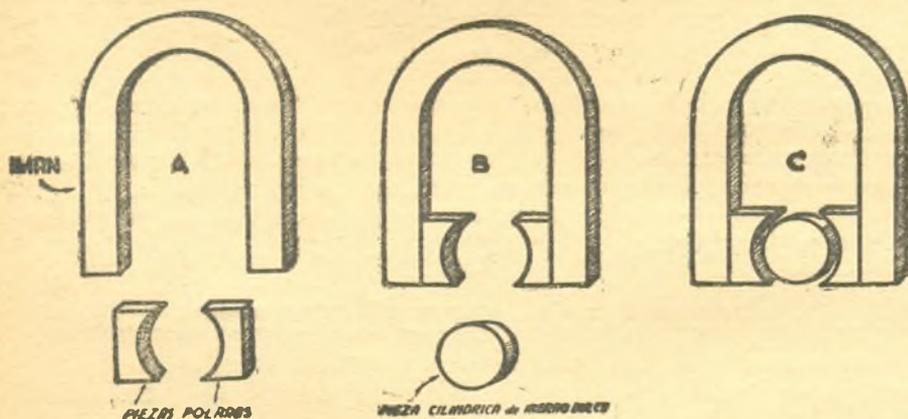


Fig. 165

los amperímetros y las piezas polares que cierran el circuito magnético, reforzándolo por la proximidad de los polos del imán.

En la misma figura 165 B se muestran las piezas polares en su lugar y aparte la pieza cilíndrica de hierro dulce que reducirá en lo posible el espacio de aire entre las piezas polares. En C de la misma figura se ve cómo están dispuestas todas las piezas del circuito magnético del amperímetro.

Para que el lector se dé una idea exacta de cómo es el campo magnético del instrumento descrito, se han realizado los espectros magnéticos para los casos A, B, C, de la figura 165.

Veamos la figura 166; se ve el espectro magnético del imán solo. En

él se puede ver que entre los dos polos el campo magnético queda debilitado debido al aumento de la reluctancia del circuito magnético.

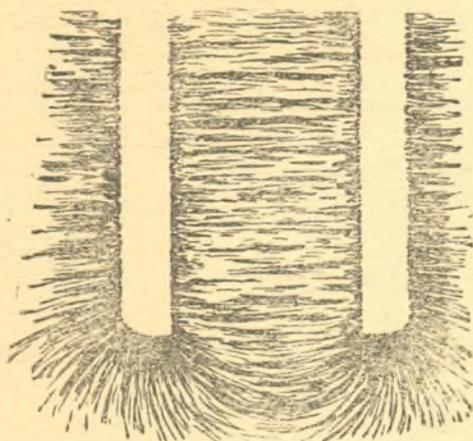


Fig. 166

En la figura 167 se ve el espectro magnético del mismo imán, pero con sus piezas polares. Se ve inmediatamente que el círculo que se forma entre las piezas polares, las líneas de fuerza magnéticas están en mayor can-

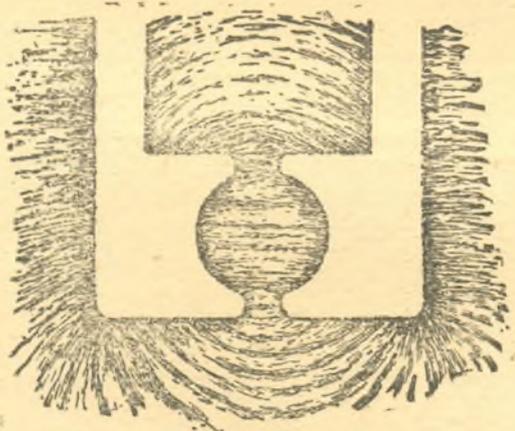


Fig. 167

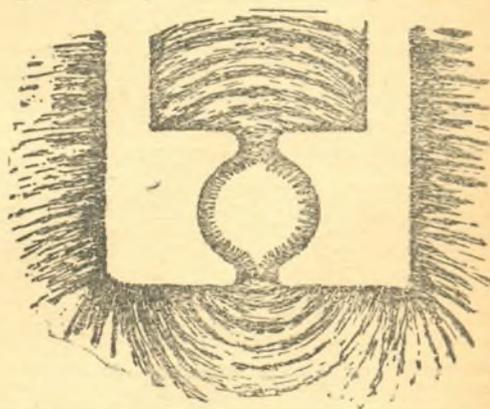


Fig. 168

tividad con respecto al caso anterior. Este fenómeno es debido a que los dos polos magnéticos están más cerca, dando origen a que el campo magnético encerrado entre las piezas sea más intenso.

En la figura 168 se ve cómo queda reducido el espacio de aire cuando se ha colocado la pieza cilíndrica. Además se observa con toda claridad como queda reforzado el campo magnético. Los lectores pueden imaginar que si en ese campo magnético se coloca una bobina móvil por la cual circula una corriente eléctrica, resultará que la bobina se moverá inmediatamente por la acción de los campos magnéticos.

En la figura 169 se muestra una bobina móvil del tipo standard completa. Está formada por un cuadro de aluminio sobre el cual está bobinada cuidadosamente la bobina, dos espirales: una en la parte superior de la bobina y otra en la parte inferior. Ambas espirales son de sentido contrario y tienen una doble misión: la de hacer que la bobina móvil tenga, en cada posición de su recorrido, el mismo esfuerzo, y la otra función es la que nos sirve para poner en contacto la bobina móvil con el circuito exterior sometido a la medición. Sobre el centro de la espiral, que es de bronce fosforoso, se fija

un pivote y que también queda amarrado sobre el eje de la bobina móvil. Estos pivotes son de acero muy duro y de un tipo similar a los empleados en los relojes. Estos pivotes descansarán luego entre dos cojinetes también como los empleados en los relojes.

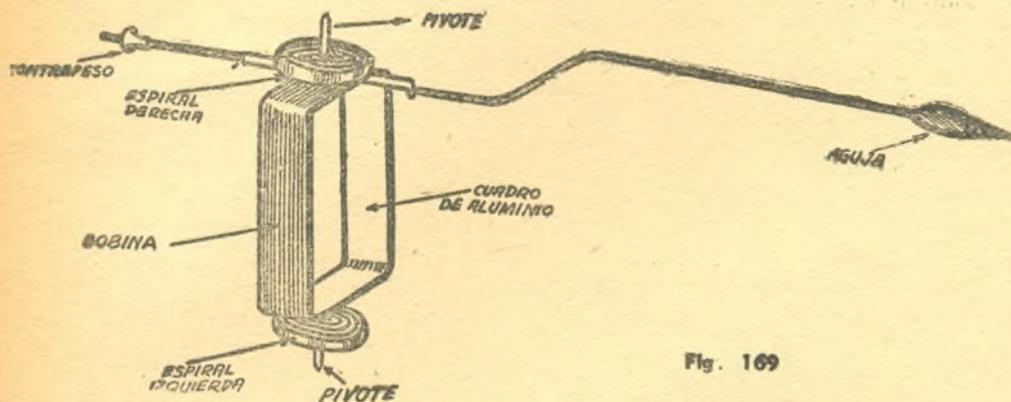


Fig. 169

Una de las partes más importantes de un instrumento de medición, es la aguja, que está hecha de un duraluminio muy delgado. Para evitar que el pequeño peso de la aguja haga trabajar a la bobina de un costado, se coloca un pequeño contrapeso en el extremo contrario de manera que en ambos lados de la aguja con respecto al eje tenga el mismo peso.

El lector se dará cuenta de lo complicada que resulta la construcción de un amperímetro y todos los detalles que hay que tener en cuenta.

Para que el sistema móvil tenga la menor inercia posible se emplean los materiales más livianos posible en él, llegándose hasta obtener bobinas móviles cuyo peso no excede de 0,2 gramos, completa.

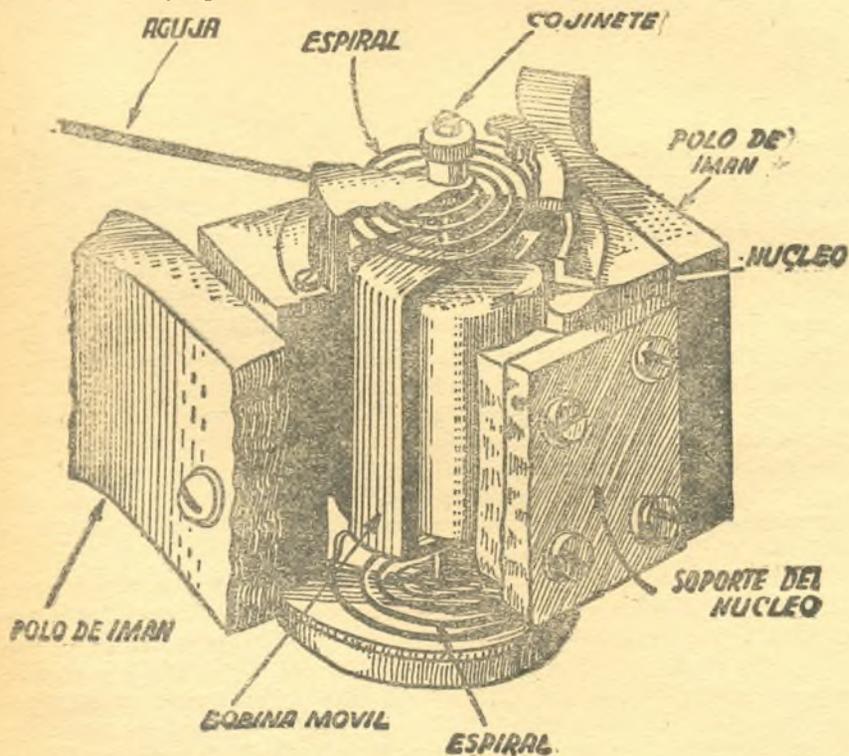


Fig. 170

En la figura 170 se muestra la parte móvil de un instrumento de medición. Para ello ha sido necesario quitar la parte de las piezas que componen el instrumento a fin de que el lector pueda ver con toda claridad cómo está colocada la bobina móvil en el entrehierro.

Puede verse en la figura 170 A el aspecto de un instrumento moderno sin escala.

Creemos innecesario detallar todas las partes, porque el lector las ha visto durante la descripción dada más arriba. Veamos ahora la parte que directamente está ligada a las mediciones.

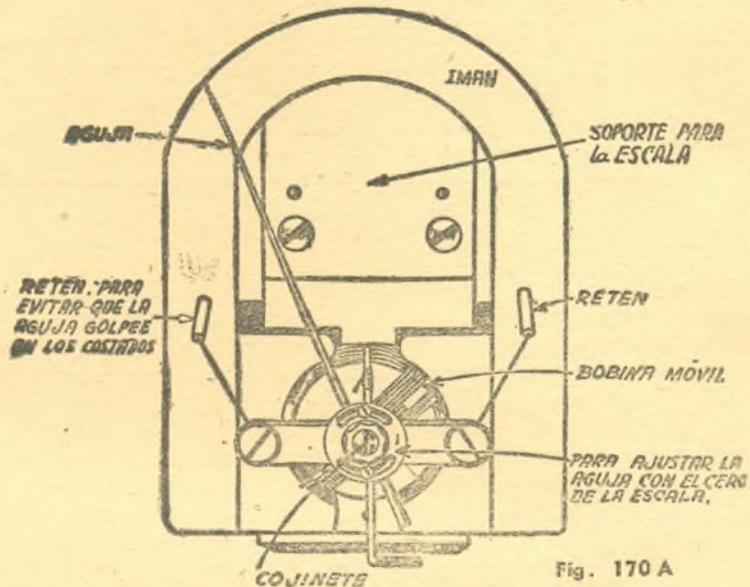


Fig. 170 A

Veamos cómo se calibra un amperímetro patrón y que servirá para calibrar todos los que después sean fabricados.

Se ha tenido que dar un valor determinado al Amper para que universalmente sea empleado. Para ello se ha pesado en un baño de plata la cantidad de plata que se deposita sobre el ánodo (placa positiva del electrolito) en un segundo para cuando dicho baño sea atravesado por una corriente constante con el tiempo. Dicho en otras palabras, si en la unidad de tiempo (un segundo) sobre el ánodo de un baño de plata se deposita 0,001118 gramos de plata, se dice que por el electrolito ha circulado una corriente de un Amper. Este valor, repetimos, se ha aceptado universalmente.

El procedimiento para calibrar un amperímetro patrón es el siguiente: se prepara un baño de plata que podría ser una vasija conteniendo una solución de agua destilada y disuelta en él, unas sales de plata. Dentro del baño y separadas entre sí se colocan dos placas del mismo metal, una conectada al positivo de una batería y la otra al negativo de la misma. Se intercala en una de las ramas del circuito una resistencia variable y un instrumento que sería el amperímetro que nos interesa calibrar.

En la figura 171 se muestra un esquema aproximado para que el lector tenga una idea de lo que estamos exponiendo. Dicho método es sumamente engorroso y requiere la pérdida de mucho tiempo para calibrar una escala. La resistencia variable tiene como misión la de regular la corriente de tal manera que en la unidad de tiempo se consiga el depósito de plata elegido que sirve de base para la calibración.

Estamos ahora en condiciones de trabajar con los amperímetros, pues ya sabemos que éstos están destinados a medir intensidades de corriente y

por lo tanto se conectan en serie con el circuito, tal como se ha visto durante todas las lecciones del Curso.

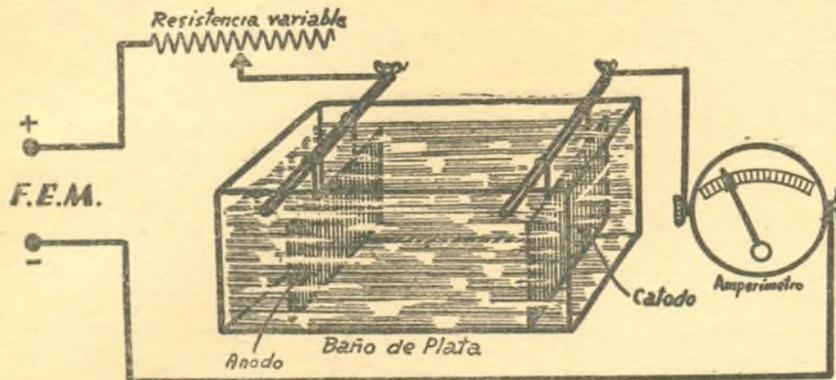


Fig. 171

Como la escala de los amperímetros son grabadas con toda precisión, las mediciones efectuadas deben dar fe absoluta, salvo el caso en que el instrumento empleado haya sido maltratado, es decir, haber hecho pasar por la bobina móvil y las espirales una corriente superior a la destinada como máxima para el instrumento.

Los lectores se dirán ahora cómo es posible medir las intensidades de corriente de los amperes, así como también miliamperes y microamperes.

Veamos primero cómo se trabaja con un amperímetro. Supongamos tener un circuito como el de la figura 172, donde tenemos un amperímetro co-

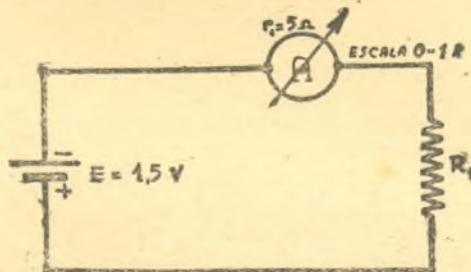


Fig. 172

nectado en serie con una resistencia R_1 . Supongamos que el amperímetro tenga una escala de cero a un Ampere y su resistencia interna sea de 5 Ohms.

Si la escala del instrumento tiene 100 divisiones y la escala total es de cero a 1 Ampere, y siendo ésta proporcional a cada división, le corresponderán 0,01 Amperes, o sean 100 miliamperes a cada una de éstas. Si la resistencia R_2 tuviese por valor 100 Ohms, la intensidad que circulará por el circuito será de:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E}{r_1 + R_1} = \frac{1,5}{5 + 100} = \frac{1,5}{105} = 0,014 \text{ Amp.}$$

es decir, que el instrumento acusará una desviación de casi una división y media de la escala a partir de la posición de reposo.

Veamos un ejemplo de un caso contrario al anterior. Supongamos que para un determinado valor de R_1 el amperímetro acusa una desviación de 20 divisiones de la escala, o sea que por el circuito circula una intensidad

de corriente de 0,2 Ampere. Veamos entonces cómo se puede calcular el valor de la resistencia R_1 . Como

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1,5}{0,2} = 7,5 \Omega$$

Pero como la resistencia interna del instrumento está en serie con R_1 , ésta será $7,5 - 5 = 2,5$ Ohms.

Con estos ejemplos, el lector podrá tener una idea de lo simple que resulta el empleo de los amperímetros en los circuitos eléctricos.

¿Qué sucedería si por el amperímetro de la figura 172 la corriente que debe circular por el circuito es superior a la calculada para el amperímetro? Si para 1 Ampere la aguja del instrumento se desvía hasta el máximo de su posición de reposo, resultará que es imposible que circule por el mismo una corriente superior a la apuntada más arriba. Por lo pronto, si el amperímetro está calculado para 1 Ampere, el alambre de la bobina móvil correría riesgo, así como también las espirales. Como el único instrumento que poseemos es el del ejemplo, veamos cómo se lo puede utilizar para el caso en que se necesite medir intensidades de corrientes superiores a las que está destinado el instrumento.

Recordemos el caso de resistencias en paralelo donde la caída de tensión producida por dos o más resistencias en paralelo, dependía del valor de la resistencia equivalente. Sea el caso de la figura 173, donde se tiene conectados un amperímetro y una resistencia en paralelo. Si por ejemplo la resistencia del amperímetro es igual a 5 Ohms y también la resistencia conectada en paralelo con el amperímetro, resultará que cualquiera sea la intensidad que circula por el circuito, tanto por R_1 como por r_1 , circularán intensidades del mismo valor.

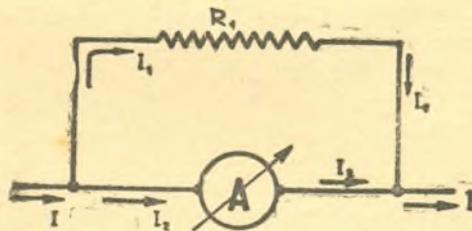


Fig. 173

Supongamos ahora otro caso donde la resistencia interna del amperímetro sea siempre de 5 Ohms y la resistencia conectada en paralelo con el mismo, 10 Ohms, resultará entonces que cualquiera sea la intensidad que circule por el circuito, la intensidad que atravesará por el amperímetro será siempre el doble de la que circula por R_1 .

Análogamente, si la resistencia R_1 es igual a 2,5 Ohms y 5 Ω la del amperímetro, resultará que por la resistencia R_1 circulará una corriente de un valor doble a la del amperímetro. El lector ve, pues, que el caso de la figura 172 puede resolverse fácilmente y no sólo para el caso donde la intensidad de la corriente a medir sea el doble a la que está destinado el instrumento.

Si por el amperímetro no puede circular una intensidad de corriente superior a 1 Ampere, y se desea medir intensidades superiores a este valor, habrá que tratar (cuando se trata de ampliar el rango de medición), que los múltiplos y submúltiplos de la escala total sean fracción entera. Así por ejemplo, si queremos medir intensidades inferiores a 2 Amperes, tomaremos como escala máxima 2 Amperes; por lo tanto, si la escala tiene 100 divisio-

nes, a cada división le corresponderá 0,02 Ampere, o sea 20 miliamperes. Lo mismo sucedería si el rango máximo del Amperímetro fuese de 10 amperes; entonces cada división sería de 0,1 Ampere, es decir, 100 miliamperes. Tomemos un caso general donde calcularemos, en base a un instrumento dado, 3 resistencias distintas que nos permitirán utilizar el mismo para tres distintos rangos de medición de intensidades. Sea entonces la figura 174, donde tenemos un miliamperímetro de tipo standard, como los que emplean generalmente los armadores y experimentadores. Supongamos que las características de dicho instrumento sean: escala de medición de 0 a 1 miliampere; 50 divisiones; resistencia interna, 27 Ohms. Rangos a medir, de 0 a 1 miliampere; de 0 a 10 miliampere; de 10 a 100 miliampere; de 0 a 1 Ampere.

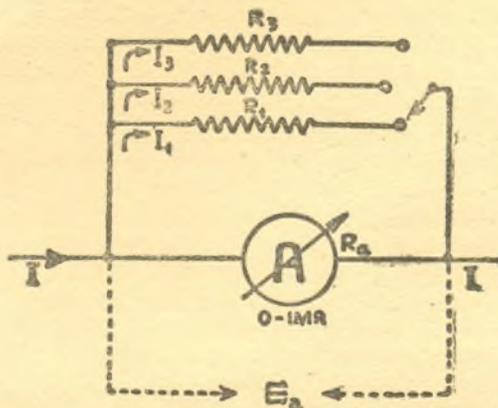


Fig. 174

Supongamos que la resistencia R_1 sea la destinada a conectarse en paralelo con el instrumento para medir intensidades de 0 a 10 miliamperes. Veamos entonces cuál es el valor que debe tener para utilizarla en el instrumento propuesto. Repetimos que el rango de 0 a 10 miliamperes debe ser a toda escala, es decir, que para el recorrido de la aguja por las 50 divisiones, tendríamos 10 miliamperes, lo que haría corresponder a cada división 0,2 miliamperes o sean 200 microamperes.

La primera operación que conviene hacer en estos casos es calcular cuál sería la caída de voltaje que se produciría entre los extremos del instrumento cuando éste trabaja como un miliamperímetro de 0 a 1 miliampere. Si la corriente máxima es de 1 miliampere, la caída de voltaje sería igual a $E_a = R_a \times I$, donde E_a es la caída de voltaje sobre los extremos del amperímetro; I es la intensidad de la corriente máxima que admite el miliamperímetro y R_a es la resistencia interna del mismo. Por lo tanto: $E_a = R_a \times I = 27 \times 0,001 = 0,027$ Volt.

Si queremos mantener la proporcionalidad de la escala, para rangos de mediciones distintos y si conectamos para ello resistencias en paralelo con el instrumento, debemos mantener el valor calculado de la caída de voltaje que para nuestro ejemplo es igual a $E_a = 0,027$ Volt. Veamos entonces que valor le corresponderá a R_1 . Por lo pronto sabemos que si R_1 está conectada en paralelo con el instrumento para poder medir intensidades en el circuito de 10 miliamperes máximos, tendremos que tener en cuenta que parte de dicha corriente circulará por el miliamperímetro. Si para una desviación máxima de la aguja del instrumento, o sea cuando por él circula una intensidad de corriente de 1 miliampere, corresponderán 10 miliamperes en el circuito formado por el instrumento y la resistencia R_1 , resultará que por R_1 tendrá que pasar en esas condiciones 9 miliamperes. Como la caída de tensión del circuito formado por el instrumento y R debe ser 0,027 Volt,

resultará que el valor de la resistencia R_a puede calcularse de una manera simple. Si por R_1 circula una intensidad de 9 miliamperes (0,009 Ampere) y la caída de tensión 0,027 Volt, aplicando la Ley de Ohm para el cálculo de resistencias, obtendremos el valor que le corresponde a R_1 .

$$R_1 = \frac{E_a}{I_1} = \frac{0,027}{0,009} = 3 \Omega$$

Se ve, pues, que el valor de la resistencia R_1 debe ser igual a 3 Ohms para que sea atravesado por una intensidad de corriente de 9 miliamperes que conectada al instrumento de 0 a 1 miliampere y de 27 Ohms de resistencia interna estemos en condiciones de medir intensidades de 10 miliamperes máximo. Calculemos ahora el valor de la resistencia R_2 , a fin de poder medir con el instrumento intensidades de 0 a 100 miliamperes, por lo tanto, en estas condiciones las resistencias que actuarán en el circuito serán solamente la del instrumento y la R_2 . Como en el caso anterior, para una desviación máxima del instrumento éste deberá ser atravesado por una intensidad de corriente de 1 miliampere. Por lo tanto, por R_1 tendrán que pasar, o mejor dicho, R_2 tendrá que ser atravesado por una intensidad de corriente de 99 miliamperes para que por el circuito la corriente máxima sea de 100 miliamperes (0,1 Ampere). Calculemos entonces de la misma manera que en el caso anterior el valor de la resistencia R_2 recordando que la caída de voltaje del conjunto debe ser siempre para una intensidad máxima de 0,027 Volt. Sea entonces:

$$R_2 = \frac{E_a}{I_2} = \frac{0,027}{0,099} = 0,272 \Omega$$

Donde se ve que el valor que corresponde a R_2 es de 0,272 Ohm. De la misma manera podemos calcular R_3 .

$$R_3 = \frac{E_a}{I_3} = \frac{0,027}{0,999} = 0,0272 \Omega$$

Por lo tanto, corresponde a R_3 un valor igual a 0,0272 Ohm.

En la práctica estas resistencias que se conectan en paralelo con el amperímetro para ampliar el rango de medición reciben el nombre de SHUNT. Estos deben ser de mucha precisión, por lo cual conviene en todos los casos cerciorarse de su exactitud.

VOLTIMETROS

Como su nombre lo indica, estos instrumentos se utilizan para medir voltajes.

Como veremos en seguida, estos instrumentos son exactamente iguales en su construcción interna a los amperímetros y su principio de funcionamiento es exactamente el mismo.

Sea la figura 175 en la cual tenemos conectado un amperímetro en serie

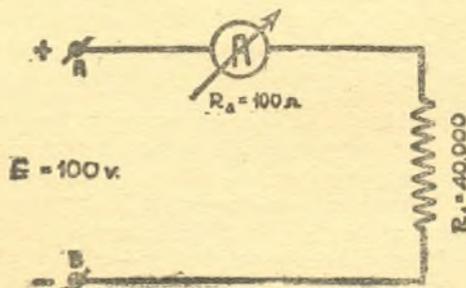


Fig. 175

con una resistencia. Si en estas condiciones conectamos los extremos a la red de canalización o a cualquier fuente de fuerza electromotriz, resultará que por el circuito circulará una intensidad de corriente que dependerá del valor de la resistencia del mismo. Dicha intensidad de corriente será acusada por el amperímetro y nos dará el valor correspondiente. ¿De qué dependerá entonces la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito? Lógicamente, ésta dependerá del valor de la fuerza electromotriz.

Si tuviésemos una fuente de fuerza electromotriz de un valor doble al caso anterior, resultará que por el circuito circulará una intensidad de corriente doble también a la del caso anterior y que también es acusada por el amperímetro. El lector habrá observado que en los dos casos hemos leído en el amperímetro dos valores distintos y que correspondían exactamente a la intensidad de corriente que atravesaba el circuito. Si en cada caso hubiésemos marcado en la escala del amperímetro el valor de la fuerza electromotriz aplicada al circuito, dicho amperímetro nos serviría como voltímetro. Recordemos que cuando estudiamos caída de voltaje dijimos que la caída de voltaje total era igual al valor numérico de la fuerza electromotriz aplicada al circuito. En nuestro caso, o sea el de la figura 175, el circuito formado por el amperímetro y R_1 es atravesado por una intensidad de corriente determinada que dependerá del valor y la fuerza electromotriz aplicada, de manera que el valor de la caída de voltaje en los extremos del circuito tendrá el mismo valor numérico que el voltaje de la fuente de fuerza electromotriz. Veamos un ejemplo para aclarar ideas. Supongamos que la resistencia interna del amperímetro sea igual a 100 Ohm y R_1 igual a 40.000 Ohm. Si el voltaje aplicado a los extremos de este circuito es de 100 Volts, resultará que la intensidad que circula por el circuito será igual:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E}{R_a + R_1} = \frac{100}{100 + 40.000} = \frac{100}{40.100} = 0,0025 \text{ Amp.}$$

Es decir, que la intensidad que atravesará el circuito en esas condiciones será de 0,0025 Amperes.

En estas condiciones el amperímetro indicará la intensidad de corriente calculada. Si marcamos en la escala del amperímetro y en el mismo punto que nos indica la intensidad de 0,0025 Ampere, 100 Volts, obtendremos un punto en la escala del futuro voltímetro. Ahora, si en lugar de una fuerza electromotriz de 100 Volts, conectamos una de 150 V., tendremos:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E}{R_a + R_1} = \frac{150}{100 + 40.000} = \frac{150}{40.100} = 0,00374 \text{ Amp.}$$

Es decir, tenemos para una fuerza electromotriz de 150 Volts una intensidad de corriente igual a 0,00374 Amperes, de manera que podemos marcar en la escala, como en el caso anterior, otro punto.

En la misma forma podríamos obtener un circuito tal que esté en condiciones de medir fuerzas electromotrices o diferencias de potenciales, lo cual se conseguiría, como hemos visto, utilizando un amperímetro conectado en serie con una resistencia.

Los lectores se preguntarán cuál es entonces la causa por la cual no se emplea directamente un amperímetro solo y sin resistencia en serie. Esto es muy fácil de explicar si se tiene en cuenta que si un amperímetro, por ejemplo, de una escala de 0 a 1 Ampere cuya resistencia interna sea de 5 Ohm, la conectamos a la red de canalización de 220 Volts, resultará que por el amperímetro circulará una intensidad de corriente de 220 dividido por 5, es decir, 44 Amperes. Por lo tanto pueden ver inmediatamente que esto no es posible, pero en cambio, si tenemos en cuenta que por el amperímetro no puede

pasar una corriente superior a 1 Ampere y queremos medir voltajes con él, comprendidos entre 0 y 250 Volts, resultará que tendremos que conectar en serie con el amperímetro una resistencia de un valor tal que su caída de tensión, sumada a la del amperímetro, sea igual al valor de la fuerza electromotriz medida. Veamos cómo. Si el amperímetro de este ejemplo, para un pasaje de corriente de 1 Ampere determina la deflexión total de la aguja y la resistencia interna es igual a 5 Ohm, resultará que la caída de voltaje producida por el instrumento será de $1 \times 5 = 5$ Volts.

Si queremos medir con este amperímetro voltajes, debemos conectar una resistencia en serie, tal, que absorba la diferencia entre 5 y 250 Volts, o sean 245 Volts. Por lo tanto, el valor de la resistencia conectada en serie deberá ser de 245 dividido por 1 Ampere, puesto que ésta es la corriente máxima. Luego la resistencia, tendrá un valor igual a 245 Ohms. **POR LO QUE SE PUEDE VER, UN VOLTÍMETRO DIFIERE DE UN AMPERÍMETRO SOLAMENTE EN LA RESISTENCIA INTERNA DEL MISMO.**

La resistencia que se conecta en serie con un amperímetro para que trabaje como voltímetro recibe el nombre de RESISTENCIA ADICIONAL.

Veamos un ejemplo práctico a fin de que el lector pueda ver cómo el miliamperímetro de la figura 174 puede ser transformado en un voltímetro. Supongamos el caso que necesitamos un voltímetro que mida voltajes de cero a cien Volts. ¿Qué resistencia tendremos que conectar en serie con el miliamperímetro para poder medir dichos voltajes? Veamos la figura 176 donde tenemos conectado el miliamperímetro en serie con una resistencia R_1 , cuyo valor queremos calcular. Sabemos, por lo calculado anteriormente, que la caída de voltaje que se producía entre los extremos del miliamperímetro era igual a 0,027 Volts para la deflexión máxima de la aguja, o sea cuando

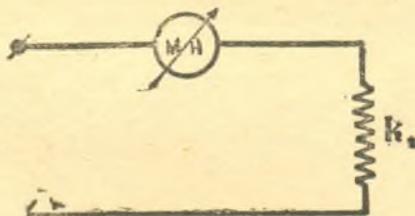


Fig. 176

es atravesado por un miliampere. Cuando se conecta el circuito de la figura 175 a una fuerza electromotriz de 100 Volts la corriente máxima será un miliampere, resultará que la caída de voltaje sobre R_1 será igual a la diferencia entre 100 Volts y 0,027, o sea igual a 99,973 Volts. Como dicha caída de voltaje es provocada por una corriente de 1 miliampere, la resistencia que provoca dicha caída de voltaje deberá tener un valor de 99,973 Volts dividido por 0,001 Ampere, lo que es igual a 99973 Ohm. Si la escala, como dijimos, tiene 50 divisiones, a cada división le corresponderá 5 Volts.

Si al valor de la resistencia calculada le sumamos el valor de la resistencia del amperímetro, veremos que es igual a 100.000 Ohms, de manera que si dividimos 100 Volts por el valor de esta resistencia veremos que efectivamente la intensidad del circuito es igual a 1 miliampere.

En consecuencia, un método más directo para calcular el valor de la resistencia adicional sería dividir el voltaje máximo que debe alcanzar la escala del instrumento por la intensidad de la corriente que atraviesa el instrumento para la máxima deflexión de la aguja. Es decir, para nuestro ejemplo anterior, si queremos medir 100 Volts, como la intensidad de la corriente es igual a 1 miliampere, la resistencia del circuito será igual, según la ley de Ohm, a 100 V. dividido por 0,001 A, o sea igual a 100.000 Ohm. Pero como la resistencia del instrumento es igual a 27 Ohm, resultará que debemos restarla del valor calculado; por lo tanto, el valor de la resistencia adicional es igual a 99973 Ohms, que es el valor antes calculado.

Válvulas de Radio de calentamiento directo e indirecto

Todas las válvulas de radio descritas en lecciones anteriores son del tipo de calentamiento directo. Esto quiere decir que el calentamiento del filamento para provocar la emisión electrónica se produce conectando directamente el filamento a una fuente de energía eléctrica.

Al cuerpo que emite electrones se le denomina CATODO y por lo tanto el filamento de una válvula de radio es un cátodo.

Las dificultades creadas por el costo de las fuentes de energía del tipo de pilas secas dió origen a que los técnicos buscaran un medio más económico de fuente de alimentación. Se pensó en utilizar la red de canalización para alimentar los circuitos de un receptor o transmisor de radio. Pero por razones que veremos más adelante era imposible alimentar el filamento con corriente alternada.

Se había conseguido construir un tipo de filamento de una gran inercia calorífica. Esto quiere decir que si se conecta corriente alternada al filamento del cambio de sentido de la corriente durante sus cincuenta cambios por segundo, no afecta a la temperatura del filamento, de manera que la emisión electrónica se mantiene constante. Pero a pesar de esta solución que parecía bastante buena, no llenaba las necesidades requeridas por los circuitos.

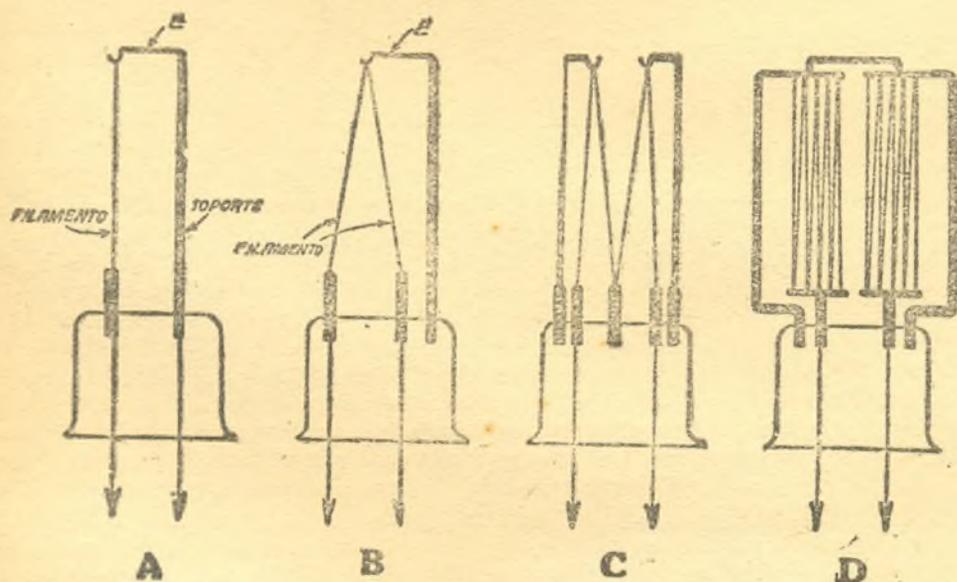
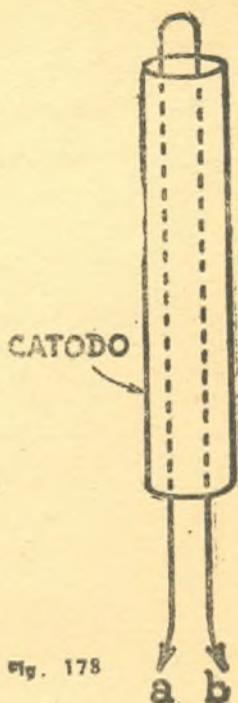


Fig. 177

La solución de resultados más eficaces ha sido la construcción de un cátodo cuyo calentamiento se obtenía de una manera indirecta.

Antes de estudiar la lámpara de radio de cátodo de calentamiento indirecto, veamos las formas que en la práctica adoptan los cátodos de calentamiento directo. Esto puede verse en la figura 177. En A se tiene un fila-



mento recto cuyos soportes son los trazos gruesos de la figura. Dichos soportes van fijados rígidamente a la parte interior de la ampolla de vidrio. El elástico "E" actúa como resorte a fin de mantener el filamento o cátodo en posición recta. En "B" se muestra otro tipo de cátodo de calentamiento directo; tiene forma de "V" invertida. En "C" puede verse un cátodo de calentamiento directo en forma de "M", muy empleado en lámparas para amplificadores de potencia. Finalmente, en "D" tenemos un tipo de cátodo de calentamiento directo de diseño avanzado, que se emplea, como en el caso anterior, para lámparas de amplificadores de potencia donde se requiere una gran emisión electrónica.

Veamos ahora cómo es un cátodo de calentamiento indirecto. En la fig. 178 se indica de una manera esquemática la construcción de un cátodo de dicho tipo. Explicaremos ahora su funcionamiento. El cátodo propiamente dicho es un tubito de metal de pequeñas dimensiones en el cual se ha introducido un filamento metálico. Si a dicho filamento le conectamos una cierta fuente de energía eléctrica, circulará por el mismo una intensidad de corriente determinada. Como la corriente determina un aumento de temperatura en el filamento, dicho filamento calentará el espacio existente entre el tubito de metal y el filamento. Por lo tanto esto determina el calentamiento del tubo de metal. Si la temperatura del filamento es bastante elevada, resultará que éste podrá, por conductividad calorífica, elevar la temperatura del tubito de metal (cátodo) a una temperatura suficientemente elevada como para emitir electrones.

En el caso de calentamiento directo, así como en el indirecto, no es posible utilizar temperaturas excesivamente elevadas, porque se produciría el deterioro de los elementos que se emplean para aumentar la emisión electrónica. Como todos los metales en general, a una baja temperatura, dejan en libertad muy pocos electrones, por cuya razón no sería posible que la válvula de radio trabaje en buenas condiciones. Para evitar este inconveniente se ha empleado un material especial compuesto por TIERRAS RARAS, cuyo descubrimiento se hizo a raíz de ciertas experiencias realizadas con ellas. Durante dichas experiencias se ha notado que estas tierras raras, a una temperatura muy baja, producen un gran desprendimiento de electrones.

Por lo que hemos dicho, el lector habrá observado que el filamento propiamente dicho, en las lámparas de calentamiento indirecto, actúa simplemente como "calentador", no interviniendo en absoluto en el funcionamiento de la válvula en lo que respecta a emisión electrónica, pues su función se limita sencillamente a calentar el cátodo.

Como en la práctica los filamentos deben ser de una gran longitud, se recurre a recubrir su superficie con un material aislante y refractario a fin de que sea posible plegarse en varias partes para introducirlo en el cátodo.

Como la aislación entre el filamento y el cátodo es relativamente reducida, se trata que la diferencia de potencial entre ambos sea la menor posible.

El uso del cátodo de calentamiento indirecto en las válvulas de radio simplifica enormemente los circuitos, como veremos en seguida. En la figu-

ra 179 tenemos una válvula de calentamiento indirecto destinada a trabajar como amplificadora. Supongamos que dicha válvula es del tipo 6C5, cuyas características son las siguientes: voltaje de filamento de 6.3 Volts; corriente de filamento, 0,3 Ampere; Voltaje de placa, 250 Volts; Voltaje negativo de grilla, -8 Volts; corriente de placa, 8 miliamperes, etc.

Según la característica de dicha válvula, para trabajar como amplificadora, necesita un voltaje negativo en grilla de 8 Volts, para lo cual la corriente de placa alcanzará un valor de 8 miliamperes.

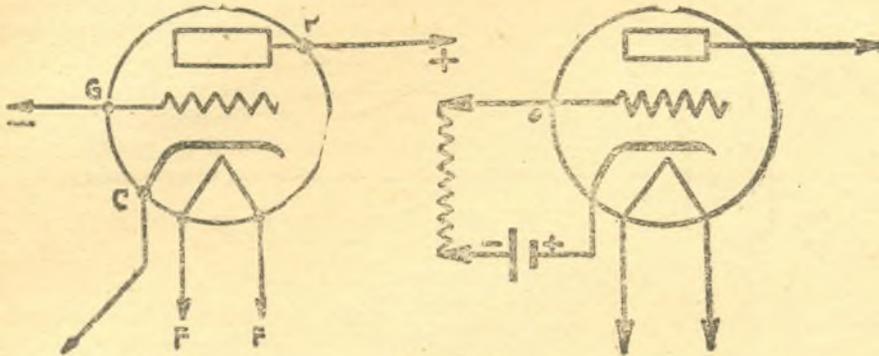


Fig. 179

Lo primero que el lector pensará es, en qué lugar se conectará la batería que nos suministrará el potencial negativo de la grilla y la respuesta la encontrará en la misma figura 179, en la cual se ha conectado el polo positivo de una batería de 8 Volts al Cátodo de la válvula y el negativo quedaría conectado a la grilla misma. El potencial de la grilla, así como el de la placa, debe tomarse con respecto al cátodo, pues éste es el emisor electrónico. Por lo tanto, vemos en la figura 179 a la derecha, que la grilla está conectada a un potencial negativo de -8 Volts con respecto al cátodo.

En la práctica el empleo de una batería adicional para los potenciales de grilla da a veces origen a serios inconvenientes en los aparatos, por lo cual se ha buscado la manera de reemplazarlos.

En la figura 180 tenemos representados una lámpara triodo de calenta-

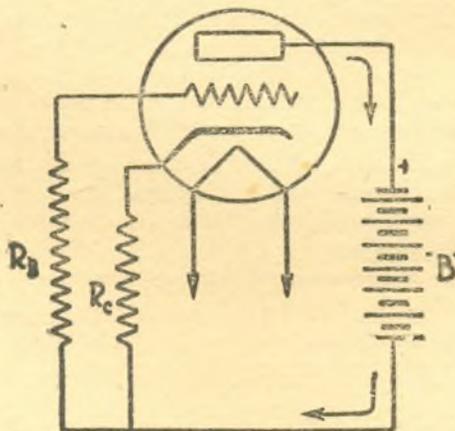


Fig. 180

miento indirecto y del mismo tipo de la figura 179. Como se ve, tenemos conectado entre el negativo y la batería "B" de placa y el cátodo, una resistencia "Rc". Si suponemos que la válvula está funcionando, el circuito será

atravesado por una intensidad de corriente, que, como ya saben los lectores, depende del voltaje aplicado a la placa y del potencial aplicado a la grilla. Si seguimos el sentido de la corriente electrónica, es decir, desde el cátodo hacia la placa y de la placa hacia el circuito exterior, veremos que dichos electrones, después de atravesar la batería "B" del circuito de placa, pasarán por la resistencia R_c y volverá nuevamente al cátodo, cerrándose así el circuito eléctrico. Si por la resistencia R_c ha pasado una intensidad de corriente determinada, resultará que entre sus extremos se producirá una caída de tensión que dependerá de la intensidad de la corriente y del valor de la resistencia R_c . Si la grilla de la válvula, la conectamos a través de la resistencia R_g al negativo de la batería "B" del circuito de placa, resultará que la grilla se encontrará a un potencial negativo con respecto al cátodo y dicho potencial tendrá el mismo valor que el que adquiere la caída de voltaje entre los extremos de R_c . Vamos a demostrar lo que acabamos de decir. Tratemos de representar las resistencias del circuito a fin de poder comparar las deficiencias de potencial entre los electrodos de la válvula. Si observamos la figura 181 veremos que hemos representado la resistencia interna de la válvula como si fuera una resistencia óhmica común y conectada en serie con la resistencia que teníamos conectada en el circuito de cátodo de la figura 180. Las dos resistencias conectadas en serie están conectadas a la batería "B" de placa; para que la comparación sea más exacta, hemos dibujado también los electrodos de la válvula, pero en línea punteada, pues de lo contrario parecería que tenemos conectada una válvula en paralelo con las resistencias R_c y R_g . Claramente se ven en la figura 181, que si el cátodo está conectado en el punto "b" y la grilla en el punto "a", resultará que la grilla está a un potencial negativo con respecto al cátodo y, el potencial de la placa corresponde a la diferencia de potencial entre los puntos "b" y "c", o sea la que se produce entre los extremos de la resistencia interna de la válvula.

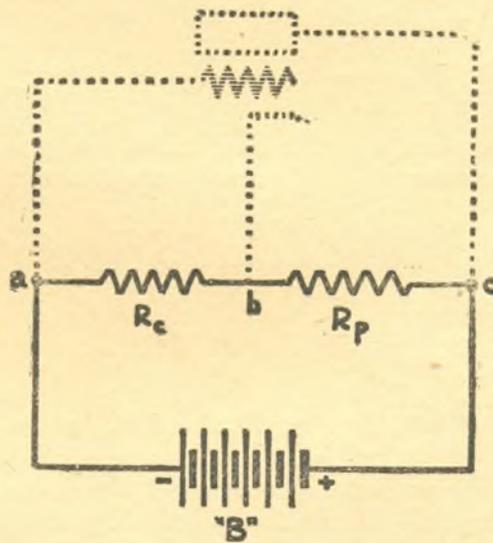


Fig. 181

De aquí sacamos como conclusión que, conectando una resistencia en el circuito de cátodo de manera tal que la corriente total de la válvula pase por ella, resultará que podremos obtener potenciales negativos de grilla adecuados si calculamos previamente el valor de dicha resistencia. Veamos cómo se puede calcular el valor de la resistencia de cátodo a fin de obtener la po-

larización de la grilla. A este sistema de polarización se le da el nombre de AUTO POLARIZACION.

Si la válvula del ejemplo es del tipo 6C5, cuyas características damos, resultará entonces que la intensidad de la corriente que atraviesa la resistencia R_c será igual a 0,008 Ampere (8 miliamperes), puesto que ésta es la corriente de placa, cuando la diferencia de potencial entre la placa y el cátodo es igual a 250 Volts, para lo cual es necesario que el voltaje negativo de la grilla sea igual a -8 Volts. Por lo tanto, la caída de voltaje que debe producirse entre los extremos de R_c debe ser igual a -8 Volts, y como la intensidad de la corriente será de 8 miliamperes, podremos calcular aplicando la ley de Ohm el valor de la resistencia R_c . Por lo tanto:

$$R_c = \frac{E_g}{I_p} = \frac{8}{0,008} = 1000 \Omega$$

Esto significa que el valor de la resistencia R_c debe ser igual a 1000 Ohms para que la auto polarización sea correcta.

Para que el lector pueda familiarizarse con estos cálculos, daremos otro ejemplo utilizando la válvula 25A6, muy empleada en los receptores modernos y cuyas características son las siguientes: Voltaje de filamento, 25 Volts; corriente de filamento, 0,3 Ampere; Voltaje de placa, 135 Volts; tensión negativa de grilla, -20 Volts; voltaje de grilla auxiliar, 135 Volts; corriente de placa, 37 miliamperes; corriente de grilla auxiliar, 8 miliamperes, etc. Por lo que se ve, esta válvula es aparentemente un tetrodo, pero en realidad se trata de un pentodo, pues tiene conectada interiormente la grilla supresora. Como la corriente de placa y la de grilla auxiliar se producen por la emisión del cátodo, resultará que por el circuito de cátodo circulará la corriente de ambas; por lo tanto, dicha intensidad tendrá un valor de $37 + 8 = 45$ miliamperes. Como la caída de voltaje, entre los extremos de la resistencia de cátodo deberá ser de 20 Volts, resulta que el valor de la resistencia que habrá de conectar en el circuito de cátodo para obtener la polarización correcta será:

$$R_c = \frac{E_g}{I_p} = \frac{20}{0,045} = 444 \Omega$$

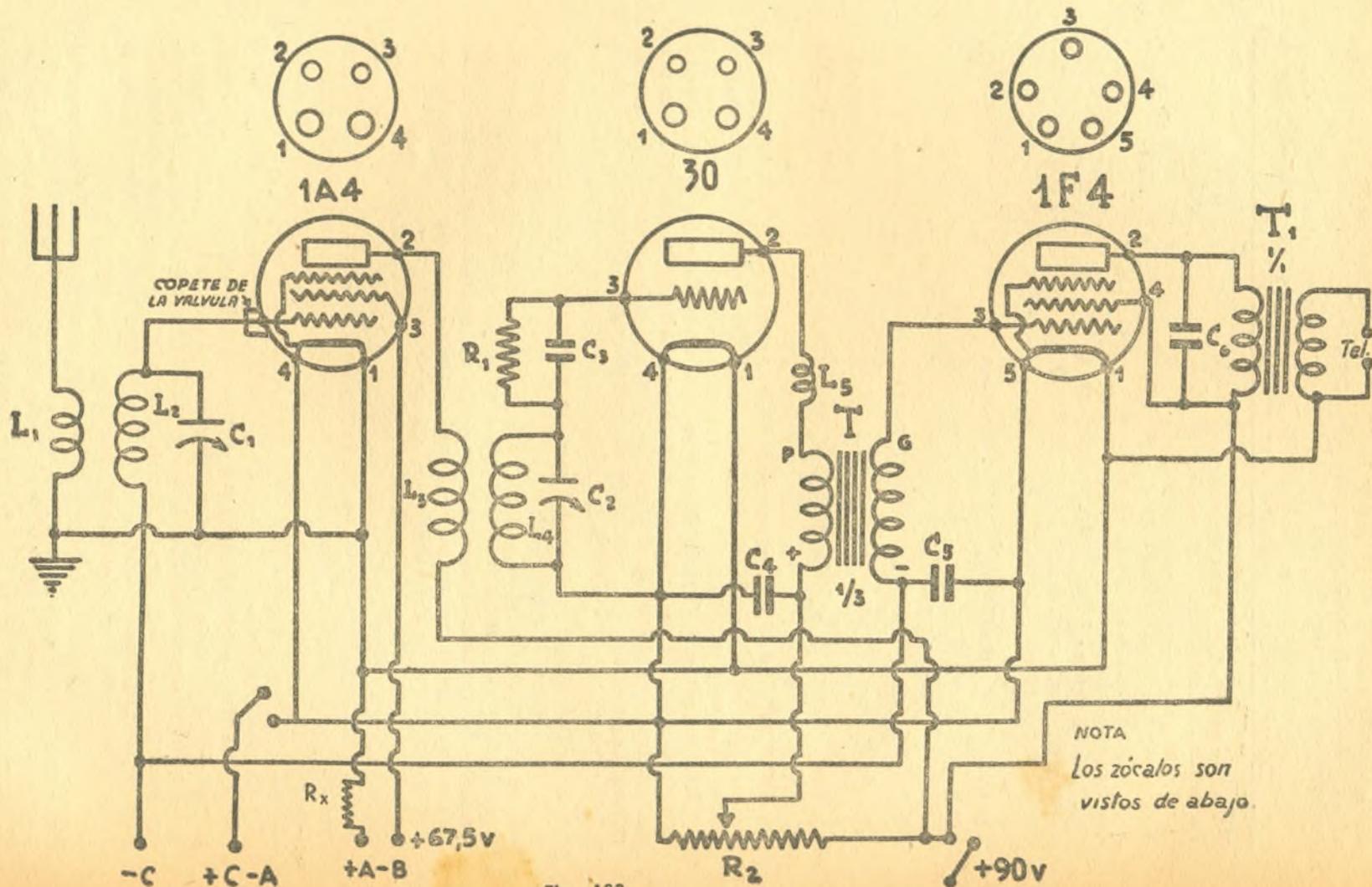
Es decir, que la válvula 25A6 para trabajar correctamente de acuerdo a las características dadas, la resistencia de cátodo tendrá un valor de 444 Ohms.

39ª. LECCION

Receptor de tres Válvulas

Hemos visto en la lección 35ª. la construcción de un receptor constituido por un detector y una etapa de amplificación de baja frecuencia. En la presente lección describiremos un receptor constituido por tres válvulas. Una de ellas trabajará como amplificadora de alta frecuencia, es decir, amplificará las señales inducidas en la antena, y luego dichas señales, después de haber sido amplificadas, serán detectadas por una segunda válvula que es la detectora. Una vez detectadas las señales, éstas serán amplificadas por una tercera válvula.

La válvula elegida para trabajar como amplificadora de alta frecuencia es del tipo 1A4, que es un pentodo diseñado especialmente para esta función.



NOTA
Los zócalos son vistos de abajo.

Fig. 182

Como detectora se ha elegido una válvula 30, a fin de facilitar el diseño. Como válvula amplificadora de baja frecuencia utilizaremos la 1F4. Las características de estas válvulas son las siguientes:

	Válvula 1A4	Válvula 1F4
Voltaje de filamento	2 Volts	2 Volts
Corriente de filamento	60 M A	120 M.A.
Voltaje de placa	90 Volts	90 Volts
Voltaje de grilla auxiliar	67,5 máximo Volts	90 Volts
Voltaje de grilla	-3	-3
Corriente de placa	2,2 M A	4 M.A.
Corriente de grilla auxiliar	0,9 M A	1,3 M.A.
Resistencia de placa	600.000	240.000
Coefficiente de amplificación	25	340
Tranconductancia	720	1400
Capacidad grilla-placa	0,007 μf
Capacidad de entrada	5 μf
Capacidad de salida	11 μf
Resistencia de carga		20.000
Potencia de salida		120 M.W.
Tipo de la base	4 patitas	5 patitas

Las características de la válvula 30 no se dan aquí, porque fueron dadas en la lección 35a.

Puesto que ya conocemos las características de las válvulas que emplearemos en el diseño, tratemos de ver de qué manera dispondremos las otras partes del receptor.

Para conectar el circuito de antena que estará formado por la antena, la inductancia L_1 y la toma de tierra. Las señales inducidas en el circuito de la antena podrán ser llevadas al circuito de grilla de la válvula amplificadora de alta frecuencia utilizando un transformador de tal manera que L_1 sea el primario y el secundario la bobina de grilla propiamente dicha.

Si la inductancia que actuará como secundario del transformador, o sea L_2 , la calculamos de manera que su valor sea tal que trabajando en paralelo con un condensador variable de $0,00035 \mu f$ pueda tomar un circuito capaz de resonar en la banda de frecuencia destinada a la recepción de broadcastings. En lecciones anteriores vimos que un valor adecuado para la inductancia L_2 sería un valor de $225 \mu f$ si trabaja con un condensador de $0,00035 \mu f$. Si el condensador a que nos referimos C_1 de la figura 182, resultará que entre L_2 y C_1 formará un circuito resonante similar a los estudiados anteriormente, de modo que para una posición determinada del condensador variable, o sea para una capacidad determinada del mismo, el circuito $L_2 C_1$ estará en condiciones de resonar a una cierta frecuencia de broadcasting, que por supuesto ha inducido un voltaje en el circuito de la antena.

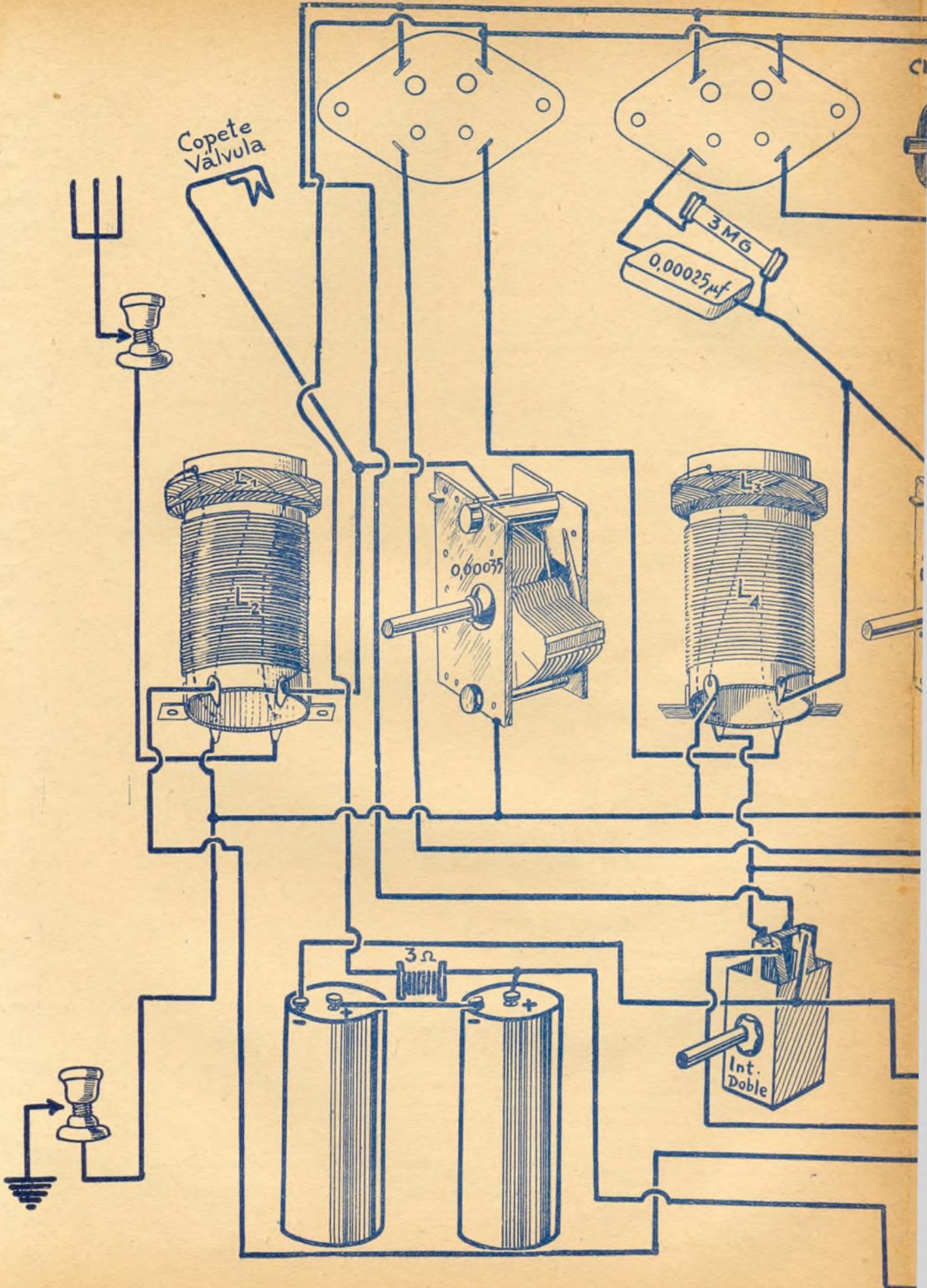
En estas condiciones aplicamos a la grilla de la válvula 1A4 una señal de broadcasting; por lo tanto, dicha válvula amplificará esta señal quedando impresa en el circuito de placa de la misma. Para poder obtener dicha señal amplificada en el circuito de placa conectamos en el circuito de la misma una "impedancia" que en nuestro caso se trata de una inductancia L_3 cuyo valor damos más adelante y que sea de una impedancia equivalente a la carga de placa de la válvula.

Si aprovechamos la inductancia L_3 para construir otro transformador cuyo primario sea precisamente L_3 y el secundario una inductancia tal que podamos conectarla al circuito de grilla de la válvula detectora. Este artificio nos permite llevar la señal amplificada al circuito de grilla de la de-

1A 4

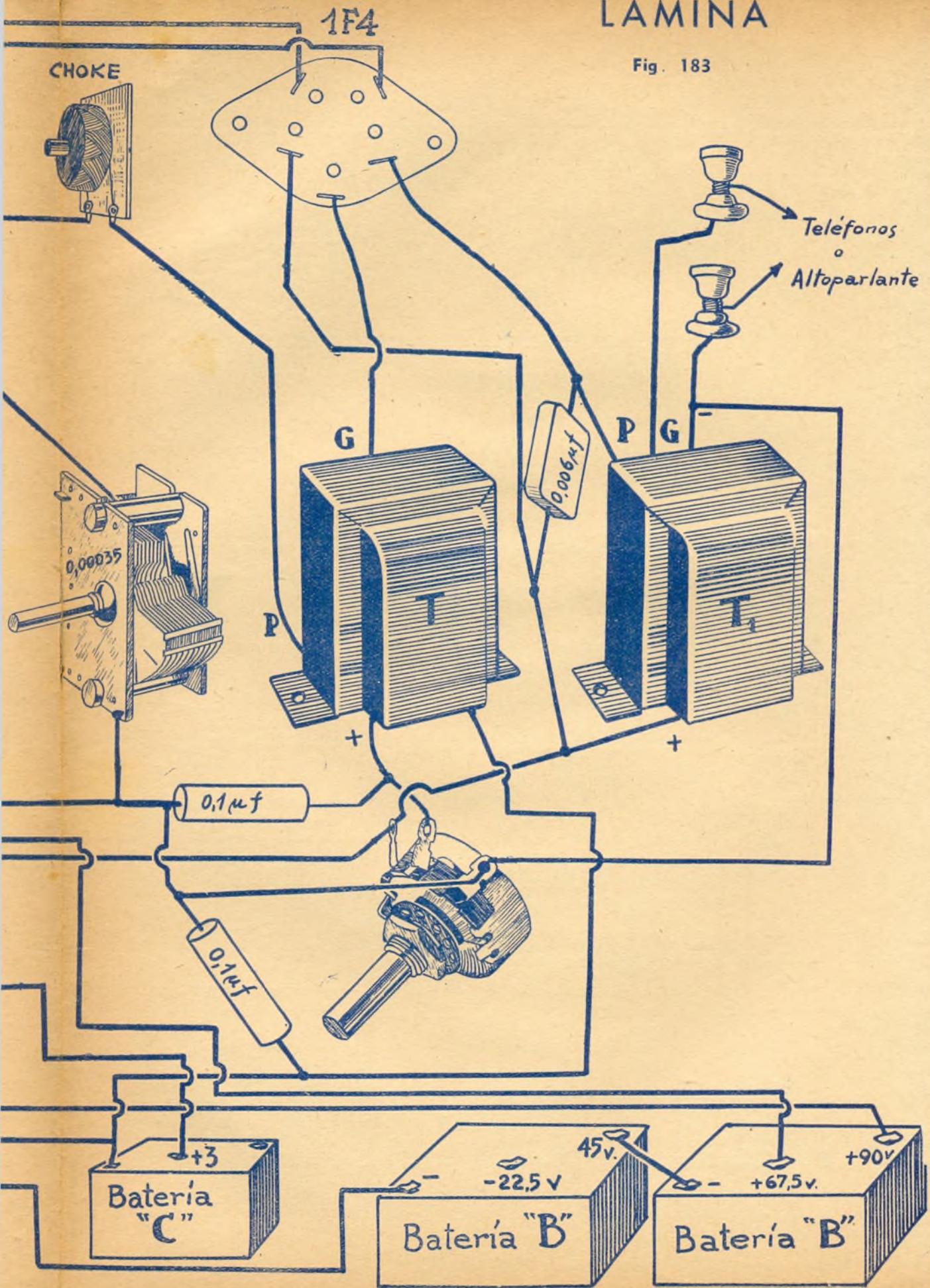
30

Copete
Válvula



LAMINA

Fig. 183



ectora para ser detectada. Para que tal cosa suceda, el circuito de grilla de la válvula detectora debe tener exactamente las mismas características que el circuito de grilla de la válvula amplificadora de alta frecuencia. Esto sería posible solamente si L_4 fuese igual a L_2 y C_2 igual a C_1 .

Por lo que acabamos de explicar, el lector podrá observar que el proceso de la amplificación de alta frecuencia es de lo más sencillo y que, una vez logrado esto, podremos detectar las señales amplificadas de la manera corriente y ya familiar.

Para lograr una amplificación de baja frecuencia relativamente grande recurriremos al empleo de un transformador de baja frecuencia cuya relación de transformación conviene que sea de 1 a 3. No repetiremos la explicación del proceso de amplificación de baja frecuencia de las señales detectadas por la válvula 30. Sólo recordaremos que el secundario o el transformador T_1 debe conectarse al circuito de grilla de la válvula 1FA.

El lector podrá emplear en el circuito de placa de la amplificadora de baja frecuencia un par de teléfonos o también un altoparlante del tipo magnético o magneto-dinámico. Si se observa la característica de la válvula 1A4, se verá que la corriente de placa es de 4 M.A., de manera que si conectamos los teléfonos directamente al circuito de placa, el bobinado del mismo correrá peligro de quemarse. (Recordemos que el alambre empleado en los teléfonos es de una sección muy pequeña). Para evitar el peligro de que se queme el bobinado del teléfono, conviene utilizar un transformador de acoplamiento que podría ser de la relación 1 a 1. Dichos transformadores están contruidos de tal manera que la sección del alambre del primario es más gruesa que la del secundario a fin de que resulte imposible el calentamiento del mismo. Como la relación del transformador es de 1 a 1, el voltaje del secundario tendrá el mismo valor que el voltaje inductor, esto es, del primario.

Veamos ahora las otras partes del circuito. Si recurrimos nuevamente a las características de las válvulas que emplearemos en el diseño, se verá que las tres válvulas a utilizar son del tipo de 2 Volts de filamento. Por lo tanto, si el voltaje del filamento es el mismo en las tres válvulas, podremos conectarlas todas en paralelo. Volviendo a las características de las válvulas, observamos que tanto la válvula 1A4 como la válvula 1F4, para que trabajen como amplificadoras deberán tener su grilla polarizada a -3 Volts. En consecuencia, tendremos que emplear en este circuito una pequeña pila que podrá suministrarnos el voltaje de polarización necesario.

En las características dadas se ve que el voltaje de la grilla auxiliar de la válvula 1A4 debe ser de 67,5 Volts aproximadamente como máximo, cuyo voltaje podemos obtener de una derivación de la batería de placa. El voltaje de la grilla auxiliar de la válvula 1FA debe ser igual al voltaje de la placa. Por lo tanto, podremos conectarlo directamente a los 90 Volts de la batería de placa.

Por último, a fin de regular el volumen, o sea la intensidad de las señales, podríamos utilizar un sistema bastante práctico y que consiste en una resistencia variable en el circuito de placa de la válvula detectora de manera tal que se puedan variar los voltajes aplicados a dicho circuito.

CONSTRUCCION. — El lector, de acuerdo al esquema de la figura 182, podrá realizar dicho receptor sin mayor tropiezo. Pero a fin de facilitar el aprendizaje, se ha desarrollado el mismo circuito en su faz constructiva tal como se ve en la figura 183 (LAMINA).

Para montar los elementos que constituyen el receptor se puede utilizar una base de madera seca y barnizada o, si se prefiere, un chasis de metal del tipo empleado en los receptores modernos. En caso de utilizar un chasis de metal, se lo podrá fabricar en hojalata, zinc, etc., en cuyo caso se sol-

darán al chassis las conexiones marcadas con el signo de tierra y por lo tanto la toma de tierra podrá conectarse directamente al chassis.

La distribución de los elementos debe hacerse de acuerdo al esquema de la fig. 183 (LAMINA), teniendo cuidado de colocar los dos transformadores $L_1 L_2$ y $L_3 L_4$ en una posición tal que sus campos magnéticos no puedan influenciarse. También hay que evitar que estos transformadores estén muy próximos. Esta advertencia se hace con el fin de evitar que la amplificación de las señales de la antena quede anulada debido a la influencia electromagnética de ambos transformadores de alta frecuencia.

Posiblemente sea necesario blindar (*) la válvula 1A4. Esto se logra utilizando un blindaje del tipo standard, fácil de conseguir en el comercio. Por lo tanto, habrá que conectar el blindaje a la toma de tierra o bien a alguna conexión que vaya a ellas, teniendo cuidado de que dicho blindaje no haga contacto con otras conexiones no fijadas en el circuito.

El lector verá si este blindaje es necesario una vez armado y probado el receptor. Si el receptor trabajando normalmente produce algún sonido agudo superpuesto a la música o a la palabra de la estación sintonizada, ello significa que se producen acoplamientos indebidos y una de las maneras de evitar este fenómeno consiste en blindar la válvula 1A4. En lecciones subsiguientes, cuando estudiemos el diseño de receptores más sensibles, veremos distintos métodos para evitar acoplamientos indebidos.

Se habrá notado que estamos en presencia de dos circuitos sintonizados: uno formado por $L_2 C_1$ y el otro por $L_4 C_2$. Por lo tanto, conviene colocar los condensadores de ambos circuitos separados entre sí, pero en el frente del panel del receptor para facilitar la sintonía.

El transformador de amplificación T_1 debe colocarse alejado de la válvula 1A4 la 30 y sus respectivos circuitos. La válvula 1F4 y el transformador de acoplamiento conviene que estén muy próximos al transformador T_1 .

MANEJO Y PUESTA A PUNTO. — Una vez revisadas todas las conexiones y después de haberse cerciorado de la corrección de las mismas, se procederá a conectar las baterías y pilas del receptor, teniendo cuidado de

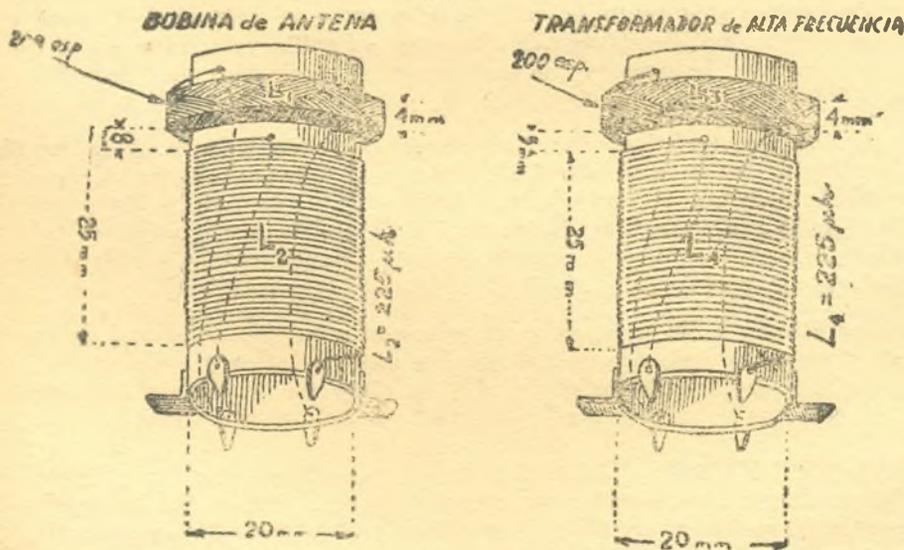


Fig. 184

(*) Blindaje significa "aislación" electrostática para evitar acoplamientos entre la válvula y los otros elementos del receptor.

mantener abiertos los dos interruptores o interruptor doble, para evitar así, en caso de mala conexión, el riesgo de quemar las válvulas.

Una vez conectadas las baterías y haber puesto en contacto con el receptor, se conecta la antena a la tierra y se coloca el condensador del circuito detector en una posición media. Luego se procede de la misma manera con el condensador variable del circuito amplificador de alta frecuencia. Una vez realizado esto, se hará girar el control de volumen hacia la izquierda. En estas condiciones seguramente se escuchará alguna estación, de manera que moviendo lentamente el condensador de la etapa de alta frecuencia, se buscará el máximo volumen, y luego se retocará el condensador del circuito del detector. Si las inductancias L_2 y L_4 están bien construídas, de acuerdo a las indicaciones que damos en la figura 184, la posición de los condensadores variables, siempre que éstos sean iguales, deberá ser aproximadamente la misma. Por lo tanto, conviene anotar en la escala de los respectivos diales la estación escuchada a fin de facilitar la sintonía de esta estación en cualquier instante. Lo mismo se repetirá para distintos puntos del día a fin de familiarizarse con el manejo del receptor.

Para evitar este manejo hasta cierto punto engorroso, podrá utilizarse en lugar de dos condensadores variables separados, uno del tipo TANDEM, o sea montado sobre un mismo eje. Pero no aconsejamos la utilización del mismo debido a la falta de experiencia de parte del principiante en la construcción de los bobinados.

LISTA DE MATERIALES

L_1 - L_2 - L_3 y L_4 , ver figura 184.

L_5 , choque similar al empleado en la lección 35a.

C_1 y C_2 , condensadores variables de 0,00035.

C_3 , condensador fijo de mica de 0,00025 μf .

C_4 - C_5 , condensadores tubulares de 0,1 μf .

C_6 , condensador de mica de 0,006 μf .

R_1 , 3MG.

R_2 , 250,000 OHM variable.

R_x , 3 Ohm de alambre.

2 zócalos de 4 patas (UX).

1 zócalo de 5 patas (UY).

1 clip para el copete de la 1A4 (grilla).

9 bornas.

1 panel y un subpanel de 20 x 15.

2 diales.

1 perilla.

1 transformador T de relación 1 a 3.

1 transformador T_1 de relación 1 a 1.

1 batería de 90 Volts con derivación ó 2 de 45 Volts.

1 pila chica de 4 1/2 Volts con derivación de 3 Volts.

2 pilas para el encendido del filamento.

1 interruptor doble.

Cálculos de la carga de placa de las etapas de radio frecuencia

Como recordarán los lectores, en lecciones anteriores hemos visto distintos métodos de amplificación para frecuencias bajas; veamos entonces cómo se presentan los amplificadores de alta frecuencia, cuáles son los métodos más usados y cómo se calcula la carga de placa de la válvula que actúa como amplificadora de señales de alta frecuencia (radio frecuencia).

Desde los primeros tiempos que se empezaron a utilizar los sistemas de amplificación de alta frecuencia, se usó el método de amplificación por resistencia tal como vimos para la amplificación de voltajes de bajas frecuencias. Este método pronto fué reemplazado por el tipo de transformador, de un tipo muy similar al empleado en amplificadores de baja frecuencia.

Estos métodos eran, por demás, malos, tanto en rendimiento como en estabilidad. Veamos someramente cómo trabajan estos sistemas para ilustración del lector.

En la figura 185 se puede ver representado un esquema típico de un amplificador de alta frecuencia y en donde se puede ver claramente el acoplamiento entre el amplificador de las señales de la antena y del circuito de

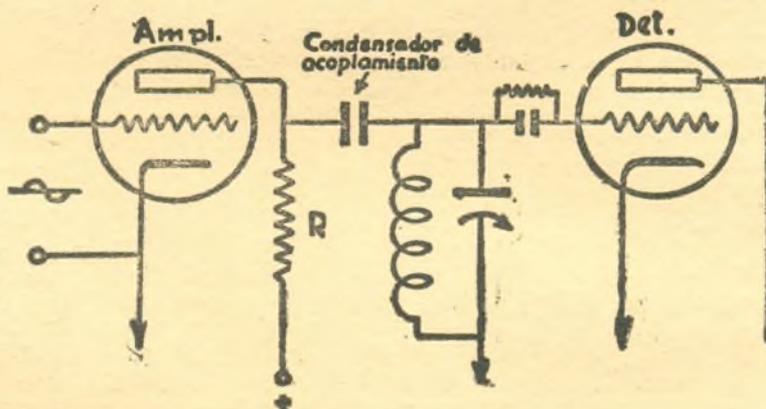


Fig. 185

detector. Uno de los defectos más graves de este sistema es la falta de regulación debido al valor de la resistencia R_p intercalada en el circuito de placa.

Supongamos que en el circuito de grilla de la válvula amplificadora se hace presente una señal de alta frecuencia de pequeña magnitud. En estas condiciones de la corriente de placa seguirá las variaciones impresas por la señal en el circuito de grilla. Esto daría por origen caídas de voltaje instantáneas, cuyos valores dependen del valor de la intensidad de la corriente de placa instantánea. En estas condiciones tendremos en el circuito de placa el voltaje amplificado por la válvula amplificadora. Si la corriente de placa de dicha válvula es de pequeña magnitud, resultará que las variaciones de voltaje en el circuito de placa también lo serán, debido a que las caídas de voltaje también lo son. ¿Qué sucede si la corriente es de una intensidad relativamente grande para una señal del circuito de la grilla elevado? Claramente se ve que la caída de voltaje entre los extremos de la resistencia

Rp. será muy grande, dando origen a que el voltaje efectivo sobre la placa es apenas mayor que el voltaje de filamento. Esto hace que el punto de funcionamiento de la válvula se desplace con respecto al punto en que dicha válvula trabaja como amplificadora, lo que da origen a que la válvula en ese instante deje de funcionar.

El valor que se emplea como carga de placa de la válvula amplificadora era el de un valor aproximado de 4 veces el valor de la resistencia interna de la válvula. La amplificación que se obtenía con este método era muy pobre. El acoplamiento del circuito de la placa con el circuito detector se efectuaba por medio de un condensador de muy baja capacidad, tal como puede verse en la figura 185.

Otro de los métodos empleados era el tipo de amplificación de alta frecuencia por medio de transformadores del mismo tipo como los empleados en baja frecuencia. Estos tenían una gran ventaja sobre el método de resistencias debido a que la resistencia del primario del transformador era muy pequeña comparada a la impedancia del circuito de placa.

De esta manera, tal que si la corriente instantánea del circuito de placa es muy elevada, la caída de tensión entre los extremos del bobinado del primario será pequeña, haciendo de esta manera que la válvula trabaje siempre dentro del punto de funcionamiento de amplificadora. A pesar de las ventajas apuntadas más arriba de este método respecto al anterior, no resultaba suficiente por el poco rendimiento. Por lo tanto debido a pérdidas en el hierro y la capacidad distribuída del bobinado, era necesario el empleo de un tipo de acero laminado especial a fin de reducir las pérdidas del hierro al mínimo y bobinado de pocas pérdidas.

Para evitar los inconvenientes del método de la figura 185 se ha sustituido la resistencia por una inductancia de un valor muy elevado. Este método todavía es empleado en ciertos circuitos. Las ventajas de este sistema sobre el de resistencia se debe a que la resistencia óhmica de la inductancia queda muy disminuída y por lo tanto se obtienen las ventajas del primario del transformador y a un precio muy reducido.

Todos los métodos de acoplamientos explicados son del tipo aperiódico, es decir, del tipo que en ningún momento se consigue resonancia del circuito acoplado en las frecuencias de las señales sintonizadas.

Algunos de los lectores se asombrarán quizás de cómo se puede hablar de resonancia de un circuito donde no existe un condensador. Pero debemos recordar que, en el caso de emplear resistencias, en ningún caso es posible la resonancia; en cambio es muy fácil que suceda tal cosa cuando se emplean inductancias. No debemos olvidar en ningún momento que donde existen conductores a distinto potencial existe capacidad entre ellos; por lo tanto, en el circuito existe capacidad; por lo cual, no hay que olvidar que también existe la capacidad entre las espiras del bobinado (capacidad distribuída) y que por lo tanto si está en paralelo con la inductancia, resulta que es posible que resuene en algunas frecuencias de la banda de frecuencia sintonizadas por el circuito de grilla. Por lo tanto, para que tal cosa no suceda, se tiene mucho cuidado en calcular la inductancia y las capacidades distribuídas a fin de evitar la resonancia. De aquí que los circuitos explicados son aperiódicos.

Existen además y son muy usados los circuitos de placa sintonizados y que pasaremos a estudiar enseguida por la importancia que tienen en la práctica. Podemos suponer un circuito como lo muestra la figura 186.

La inductancia "L" y la capacidad "C" están en paralelo de manera que si se calculan convenientemente se puede conseguir que resuenen den-

tro las frecuencias que se desea. Damos a continuación la fórmula que sirve de base para el cálculo de la inductancia óptima.

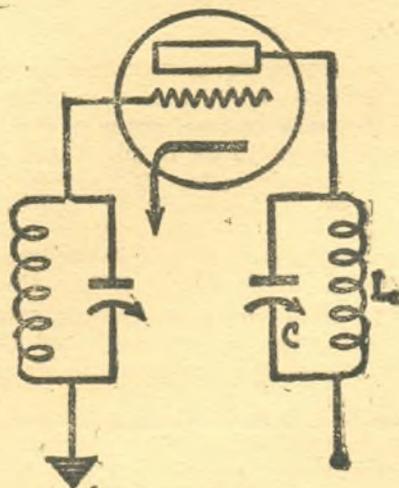


Fig. 186

En estos circuitos hay que cuidar de que la capacidad del circuito a que nos referimos sea la más pequeña posible. Por lo tanto siempre se tiene que recurrir a un pequeño tanteo hasta conseguir una inductancia de un valor elevado comparado con el valor de la capacidad.

Otro de los detalles que hay que tener en cuenta es la capacidad de salida de la válvula o sea la capacidad entre placa y el cátodo de la válvula.

Todos sabemos que la capacidad entre la placa y el cátodo está presente, como todas las capacidades del circuito, durante el funcionamiento de la válvula de manera que tenemos que tenerla en cuenta cuando se realizan los cálculos.

La fórmula a que nos hemos referido es la siguiente:

$$Z_p = \frac{L}{C \times R} \dots \dots \dots (59)$$

En donde Z_p es la carga de placa, L es la inductancia del circuito de placa, C es la capacidad del circuito, R es la resistencia óhmica del circuito exterior de placa

Esta fórmula 59 se la emplea de la siguiente manera: Para calcular los valores que corresponden a cada factor debemos conocer primeramente cuál será la válvula que emplearemos como amplificadora de los voltajes de alta frecuencia. Por lo tanto, debemos conocer las características de la misma.

Antes de consultar las características de la válvula que emplearemos como ejemplo, veamos cómo es en realidad el circuito de placa. La fig. 187 muestra los elementos que intervienen en la práctica y previstos en el cálculo.

Tanto L como C son los elementos que indica la figura 186, siendo R la resistencia de la inductancia y C_1 la capacidad de la placa-filamento de la válvula y sumadas a ésta la capacidad distribuída en la inductancia.

Vemos además que la resistencia R actúa en serie con la inductancia y las capacidades adicionales en paralelo con el condensador variable del circuito. El valor de la resistencia se puede calcular muy fácilmente de acuerdo a los conocimientos que se darán en la lección 44a. No lo explicamos ahora, porque se trata de un tema por demás importante y que debe estu-

diárselo con sumo cuidado, pues se trata de las resistencias de los conductores cuando son recorridos por corrientes de alta frecuencia. En nuestros ejemplos daremos el valor de la resistencia de la inductancia de acuerdo a un valor práctico.

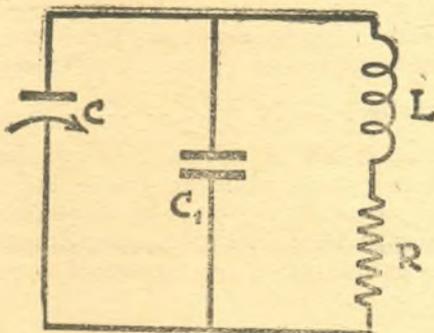


Fig. 187

La capacidad de placa-filamento se la obtiene en las características de las válvulas. La capacidad distribuída de la inductancia se puede calcular de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$C_d = 0,3 \times D \dots \dots \dots (60)$$

Donde C_d es el valor de la capacidad distribuída de la bobina, y D es el diámetro de la misma. Dicha fórmula 60 es aplicable solamente para inductancias del tipo solenoide. Daremos además una fórmula para la misma aplicación, pero que puede aplicarse en caso que interese conocer la capacidad distribuída con mucha aproximación.

$$C_d = \frac{D \times \epsilon}{e} \dots \dots \dots (61)$$

Donde D es el diámetro de la inductancia; ϵ es el valor del dieléctrico del material aislante empleado para recubrir el conductor de la inductancia, y "e" es la distancia entre espiras de la inductancia.

Como las inductancias que se emplean en los acoplamientos de los circuitos de placa son de una inductancia muy elevada, resulta que es imposible emplear en la práctica inductancias del tipo solenoide. Por lo tanto, es necesario emplear inductancias del tipo Chokes. Las capacidades distribuídas en estos tipos de bobinados son muy pequeñas, pudiéndose fijar con bastante aproximación los valores que este tipo de inductancia tiene como capacidad distribuída.

No puede darse por las inductancias bobinadas en forma de choke una fórmula práctica para el cálculo de la capacidad distribuída, porque durante el bobinado intervienen una gran cantidad de factores que en la práctica todos los valores resultan falsos.

Por lo tanto, daremos unos valores que pueden tomarse como bastante aproximados, puesto que el valor de la capacidad distribuída varía muy poco comparado a la diferencia del valor de la inductancia.

Para inductancias comprendidas entre 30 microhenrys y 3000 microhenrys, según como haya sido realizado el bobinado, sea éste apretado o flojo, el valor de la capacidad distribuída varía entre 24 y 31 micromicrofarad. (entre 0,000024 y 0,000031 microfarad.).

Puesto que conocemos todos los valores que intervienen en el cálculo de la fórmula 59, veamos cómo se opera con la misma.

Supongamos que se utiliza la válvula 1A4 empleada en el receptor de la lección 39a. Supongamos además, que el circuito de placa de dicha válvula tiene un circuito sintonizado y cuyas características estudiaremos oportunamente. Según las características de dicha válvula, la resistencia de placa es de 600.000 Ohms. Veamos cuál será el valor que convendrá dar a la inductancia para que el rendimiento de la etapa de amplificación de alta frecuencia sea la máxima. De la fórmula 59 podemos obtener el valor de la inductancia cuyo valor queremos conocer. De dicha fórmula obtenemos:

$$L = Z_p \times C \times R \dots \dots \dots (62)$$

Si el valor de Z_p es de 600.000 Ohms, supongamos que C valga $61 \mu\mu f$, o sea 0,000061 microfarad. Si suponiendo que la inductancia tiene una capacidad distribuída de unos $30 \mu\mu f$ y el condensador variable en paralelo con L de $20 \mu\mu f$ y la capacidad de salida-placa filamento, $11 \mu\mu f$ y si la resistencia del bobinado es unos 15 Ohms, resultará que el valor de la inductancia L será:

$$L = 600.000 \times 15 \times 0,000061 = 549 \mu h$$

Es claro que este valor no será exactamente el que se usará en la práctica, sino que será susceptible de variaciones según convenga a las necesidades del circuito sintonizado. Hacemos esta salvedad porque como hemos fijado el valor de la capacidad variable para poder realizar el primer tanteo, podrá ser que con la inductancia calculada no se consiga la resonancia deseada, pero en cambio podremos saber si es necesario utilizar una capacidad mayor o menor para la segunda aproximación a fin de dar con los valores correctos.

Estos conocimientos son de un valor enorme en la práctica para cuando estudiemos los transformadores de frecuencia intermedia empleados en los superheterodinos. Estos tipos de receptores son los más empleados en la actualidad y por lo tanto los lectores deberán ir asimilando todos los conocimientos expuestos para no tener dificultades en la interpretación de todos los problemas que se presenten en el futuro.

Cuando la carga de placa de la válvula amplificadora de alta frecuencia sea del tipo aperiódico y se deseara utilizar una inductancia como carga de placa, se podría utilizar como valor adecuado inductancias del valor de $3000 \mu h$.

41a. LECCION

Instrumentos de medición

(Continuación)

En la lección 37a. vimos cómo funcionaba un instrumento de medición para la medición de las intensidades de las corrientes y las tensiones, pero para el caso de corrientes continuas. Veamos ahora cómo se miden las corrientes alternadas y qué diferencias existen entre los instrumentos de corriente continua y los de corriente alternada.

¿Qué sucederá si conectamos un amperímetro de corriente continua como los descritos en la lección 37a. en un circuito donde circula corriente alternada? Si tenemos en cuenta que la corriente cambia de sentido cincuenta veces por segundo (si se tratara de la corriente industrial), resultará que los cambios de corriente imprimen impulso a la bobina móvil cincuenta veces por cada lado de la posición de reposo de la misma. Por lo tanto, veremos que la aguja del instrumento oscila alrededor de su posición de equilibrio sin acusar ninguna desviación aparente. Este fenómeno se produce por la siguiente razón: como el sentido de la corriente en un momento determinado tiene una dirección tal que la aguja del amperímetro se desvía de la posición cero a la izquierda de la escala hacia la derecha en cuanto la corriente cambie de sentido, la aguja del instrumento tenderá a moverse en el sentido contrario al caso anterior, lo que da origen a que la aguja se mueva también en sentido contrario. Si este fenómeno se repite a razón de cincuenta veces por segundo, resultará que la propia inercia de la aguja evitará que ésta tenga tiempo de moverse en ese pequeño espacio de tiempo.

Este fenómeno se debe a que los polos del imán siempre se mantienen invariables, siendo solamente los polos magnéticos generados por la corriente que atraviesa la bobina móvil los que cambian; por esa razón se explica que no sea posible medir corriente alternada con un instrumento del tipo Deprez-D'Arsonval.

Si por algún medio cualquiera consiguiéramos variar los polos del campo magnético permanente (imán), es decir, hacer que éstos cambien de polo, de acuerdo con las variaciones de la corriente, podríamos conseguir que los impulsos de la misma coincidan siempre del mismo lado, haciendo de esta manera posible la medición eléctrica.

Tratemos de representar de manera clara para el lector lo que acabamos de explicar y veamos por qué es posible medir corrientes alternadas de una manera parecida a la empleada para medir la corriente continua.

El instrumento cuyas condiciones de funcionamiento vamos a describir se basa en el principio de atracción o de repulsión entre dos campos magnéticos generados en dos bobinados: uno fijo y otro móvil.

Observemos la figura 188, en la cual se indica, en forma esquemática, el instrumento que vamos a describir para dar al lector una idea clara de su funcionamiento.

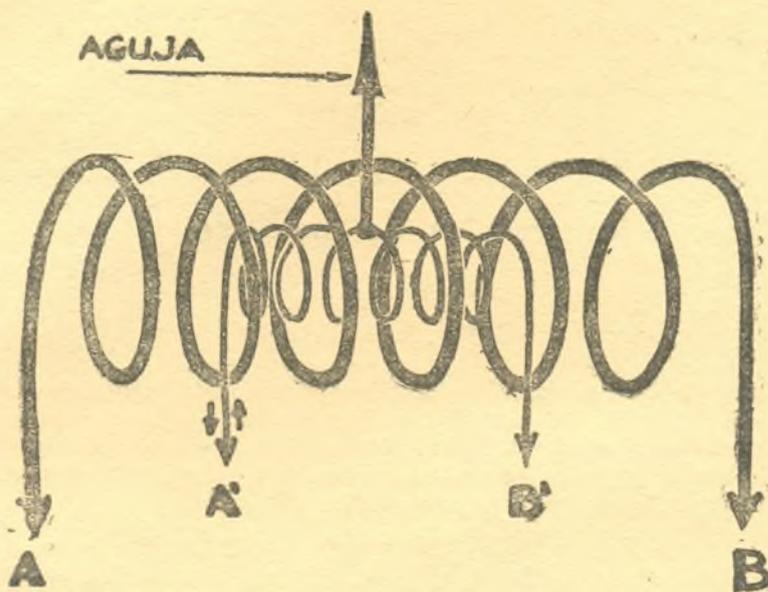


Fig. 188

Si en un momento determinado, por la bobina A B' pasa una corriente eléctrica cuyo sentido es el mismo que el que atraviesa por A' B', resultará que del lado derecho se generará un polo magnético del mismo nombre en ambos bobinados, de manera tal, que si la bobina A B es fija y la A' B' móvil, como las del tipo estudiado anteriormente, resultará que ésta girará debido al esfuerzo de repulsión de los dos polos magnéticos. Esta repulsión, en lo que a intensidad se refiere, depende, naturalmente, de la intensidad de la corriente eléctrica que atraviesa los bobinadores y del número de espiras que cada una tenga.

Si después del momento considerado anteriormente la corriente que atraviesa los bobinados cambia de sentido, resultará que si antes en el extremo derecho se había generado un polo positivo, ahora se generará un polo negativo, pero también en ambos bobinados; de manera que el mismo esfuerzo de repulsión se generará entre ambos bobinados. Como se trata de repulsión, como en el caso anterior, resultará que el movimiento de la bobina móvil será en el mismo sentido, permitiendo, así, efectuar lectura de intensidad.

En estos amperímetros no es posible emplear núcleo de hierro como en los instrumentos de corriente continua, debido a que el hierro hace que la inducción de los bobinados aumente mucho, por lo que resultaría imposible hacer que por ellos se pueda pasar una corriente de cierta intensidad relativamente grande, además del enorme aumento de las pérdidas que el hierro introduciría al instrumento.

La falta de hierro que refuerce el campo magnético generado por la corriente que atraviesa los bobinados hace que el campo magnético en ambos sea relativamente pequeño, de manera que el campo magnético terrestre llega a afectar las mediciones en corriente continua. Para evitar este inconveniente, se coloca el instrumento en un determinado lugar y luego, después de haber realizado la medición, se hace girar el instrumento en 180°

y se vuelve a efectuar la medición. Las dos mediciones realizadas de esta manera se suman en su valor y luego se dividen por dos, resultando de allí el verdadero valor de la intensidad de la corriente medida o también la tensión.

Esta forma de medición, repetimos, sólo es necesaria cuando se miden corrientes continuas, las cuales pueden ser medidas perfectamente, pero es totalmente innecesario para las mediciones con corriente alternada.

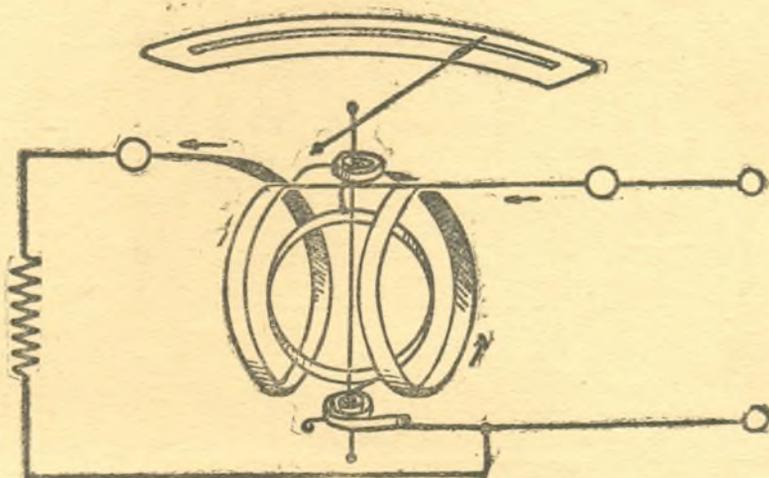


Fig. 189

Este tipo de instrumento de medición recibe el nombre de ELECTRODINAMICO por el hecho de que el campo magnético variable o fijo es producido por un electroimán. Una idea exacta de su construcción puede obtenerse observando la figura 189, donde se muestra la disposición de las diferentes partes que componen el instrumento en su posición de trabajo.

Uno de los instrumentos más sencillos y más baratos lo tenemos en los tipos conocidos con el nombre de Amperímetros o Voltímetros de hierro móvil.

Aunque las mediciones con este tipo de instrumento no son tan exactas como en los tipos ya expuestos, pueden utilizarse para las mediciones de los circuitos de filamento de los equipos de radio, como también para las mediciones de voltaje de línea, etc. El error que dicho instrumento introduce en la medición puede despreciarse, pues, en algunos casos en que el instrumento haya sido calibrado con cuidado se pueden obtener mediciones hasta con el 0,5 o/o de error.

Estos tipos de instrumentos pueden emplearse tanto en corriente continua como en corriente alternada.

La construcción de estos tipos de instrumentos de medición es de las más simples, pues sólo requiere un carrete de alambre por cuyo centro se ha hecho pasar un eje. Sobre dicho eje se fija una pequeña lámina de hierro en forma de segmento de círculo, de manera que pueda moverse libremente dentro del carrete mencionado.

En la figura 190 puede verse un instrumento de este tipo, en corte, a fin de poder mostrar las diferentes partes que lo componen.

Otra característica de este tipo de instrumento de medición es su poca sensibilidad comparado a los tipos ya estudiados. Y es por esta razón que no se ha generalizado su uso, exceptuando el caso en que el factor "costo" juega un papel muy importante.

Los lectores observarán, cuanto tengan ocasión de inspeccionar un ins-

trumento de este tipo que, en los amperímetros, el carrete inductor tiene relativamente pocas espiras y que son de alambre grueso; en cambio, en los

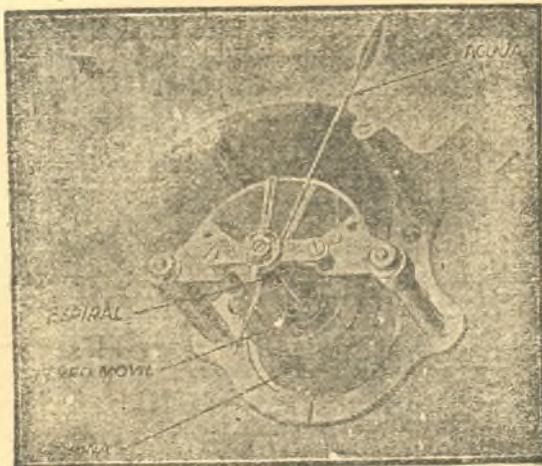


Fig. 186

voltímetros del mismo tipo, el carrete inductor lo forma un gran número de espiras de alambre muy fino.

INSTRUMENTOS TERMICOS

Otro tipo de instrumentos de medición sería aquel en que se aprovecha la dilatación de un conductor de metal que se calienta por efecto del pasaje de la corriente. dicho conductor está apoyado sobre una polea de tamaño muy reducido. Si en un momento determinado pasa una corriente por dicho conductor, éste se calentará y, por lo tanto, aumentará su longitud. Como durante el aumento de longitud del conductor se produce un desplazamiento longitudinal, resultará que hará girar la polea de referencia. Si a dicha polea le fijamos una aguja como las empleadas en los otros tipos de instrumentos de medición, estaremos en condiciones de calibrar una escala en función de la corriente que calienta el conductor.

En la figura 191 puede verse en forma esquemática el tipo de instrumento cuya descripción hemos dado. Este tipo de instrumento recibe el nombre de Amperímetro TERMICO, y la razón se puede ver claramente por lo expuesto antes: el efecto calorífico produce la dilatación del conductor que a su vez y durante su desplazamiento longitudinal hace girar la polea, etc.

En la práctica, dicho tipo de instrumento térmico no es muy esmerado, por la influencia que ejerce la temperatura ambiente. Pero en cambio es sumamente económico y es posible realizarlo en cualquier taller casero y, si se tiene bastante cuidado en su construcción, puede dar más de una satisfacción a su constructor.

El uso más común y exclusivo de estos amperímetros es para la medición de corrientes de alta frecuencia en donde los otros tipos de instrumentos no pueden emplearse.

Para que las mediciones de corrientes de alta frecuencia puedan realizarse con bastante exactitud, se emplea un tipo de amperímetro distinto al que acabamos de describir, que tiene la ventaja sobre éste de que la temperatura exterior no influye prácticamente.

Este tipo de instrumento se basa en la corriente eléctrica generada por una "cupla termoelectrica". Una cupla termoelectrica está formada por dos metales de distintas características, soldados por un extremo.

Si dicha soldadura se calienta, se observará que entre los extremos libres de la cupla se hace presente una pequeña fuerza electromotriz. A este

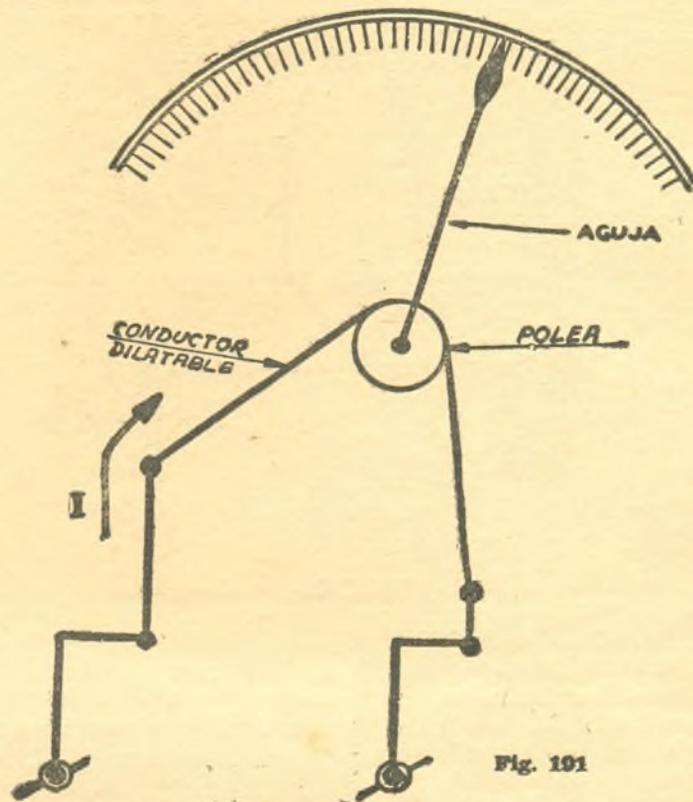


Fig. 191

fenómeno se le ha denominado efecto termoeléctrico, por la razón de que produce energía eléctrica por efecto del calor.

En la figura 192 se ilustra la experiencia que sirve de base para explicar el fenómeno a que nos hemos referido.

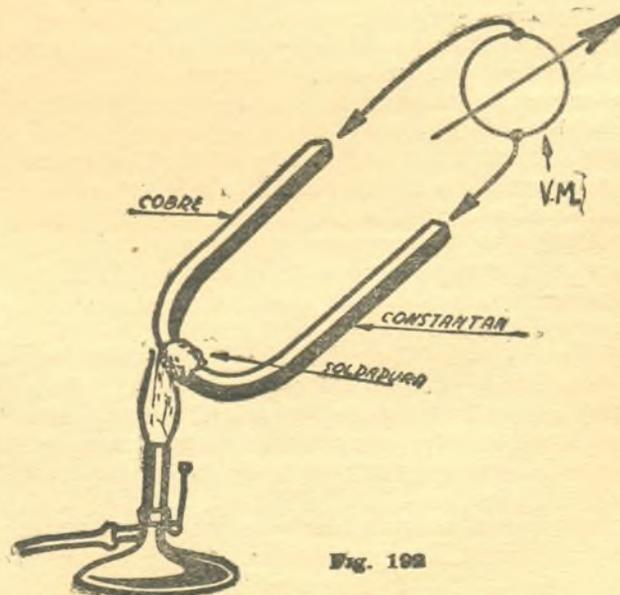


Fig. 192

En la práctica, el instrumento termoelectrico puede representarse según la figura 193; por lo tanto, puede verse que el calentamiento de la soldadura lo produce el calor generado por la corriente en un conductor que hace con-

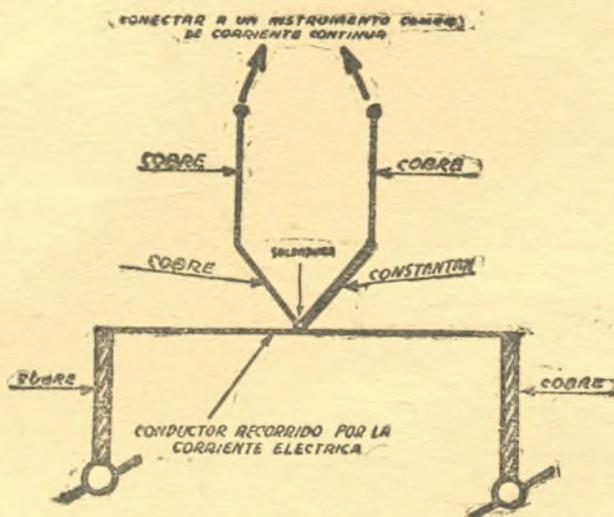


Fig. 193

tacto con la soldadura. Como la intensidad de la corriente que genera la cupla termoelectrica es de un mismo sentido, es decir, corriente continua, resultará que podremos utilizar un instrumento de corriente continua, de bobina móvil.

Para que la sensibilidad de los amperímetros y voltímetros sea mayor se utilizan varias cuplas termoelectricas conectadas en serie.

OTROS TIPOS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIONES

También existen instrumentos de medición llamados ESTATICOS, que trabajan bajo el principio de la repulsión o atracción de cargas eléctricas.

Como se trata de medición de carga eléctrica, sólo es posible usarlos como velocímetros.

Uno de los instrumentos más empleados en la industria es el llamado WATIMETRO, que permite, como su nombre lo indica, medir los Watts, o sea la energía eléctrica que un circuito determinado absorbe. Para dichas mediciones se emplean instrumentos del tipo electrodinámico llamado también electrodinamómetros. En estos tipos de instrumentos, a fin de que puedan emplearse para la medición de energías, los dos bobinados están aislados entre sí, de manera que uno de ellos trabaja como bobina de tensión y el otro como bobina de corriente. La bobina que actúa como excitadora, o sea la Fija, es la bobina de corriente y se conecta en serie con el circuito (como amperímetro), y como bobina de tensión actúa la bobina móvil, que trabaja en serie con una resistencia y se conecta en los bornes del circuito como si fuera un voltímetro.

Como podrá verse, la bobina móvil tiene una excitación constante, mientras que la bobina fija depende de la corriente del circuito. Por lo tanto, la medición efectuada dependerá de la intensidad que atraviesa la bobina móvil. De la combinación de los esfuerzos, entre la excitación de la bobina fija y la móvil, resulta la desviación de la aguja del instrumento que ha sido previamente calibrado en watts.

El principio que acabamos de dar para los instrumentos electrodinámicos se emplea para los medidores eléctricos.

AMORTIGUAMIENTO

Los lectores habrán observado en la práctica que en algunos instrumentos de medición, cuando se les conecta en algún circuito, la medición no puede realizarse en seguida, debido a que la aguja, después de oscilar unas cuantas veces, se detiene finalmente en un punto de la escala cuyo valor nos interesa saber. Como se ve, la lectura no es instantánea, debido al tiempo que tarda la aguja del instrumento en quedar en equilibrio. Este inconveniente solamente se presenta en los instrumentos del tipo económico, pero en los instrumentos de precio, y, en general, de laboratorio, tiene un sistema de amortiguamiento, con el fin de evitar las oscilaciones de la aguja en el instante de conectar la corriente en el circuito. Los sistemas empleados son varios, a saber:

AMORTIGUAMIENTO MAGNETICO

Este sistema puede hacerse de dos maneras, según sea empleado en instrumentos del tipo pequeño o de tablero de laboratorio. Si es del tipo pequeño, se emplea el sistema de amortiguamiento introduciendo pérdidas en el sistema de la bobina móvil. Veamos cómo: recordemos que la bobina móvil en los instrumentos del tipo Deprez-D'Arsonval está montada sobre un cuadro de aluminio. Pues bien; recordemos también que dichos instrumentos poseen un imán permanente; por lo tanto, cuando la bobina móvil por efecto de una corriente eléctrica que la atraviesa, empieza a oscilar, hace que se genere una corriente eléctrica inducida en el cuadro de aluminio de la bobina móvil. (Recordemos el capítulo en el cual estudiamos que si un conductor cerrado se mueve en un campo magnético, se generará en el conductor una corriente inducida).

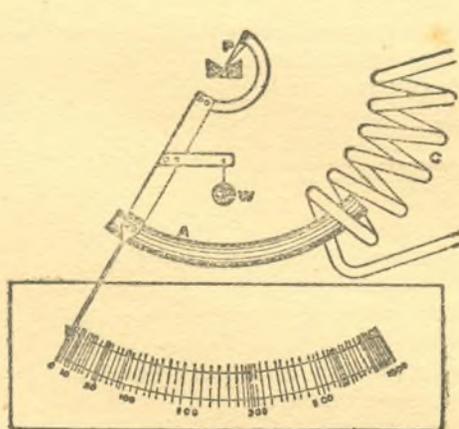


Fig. 194

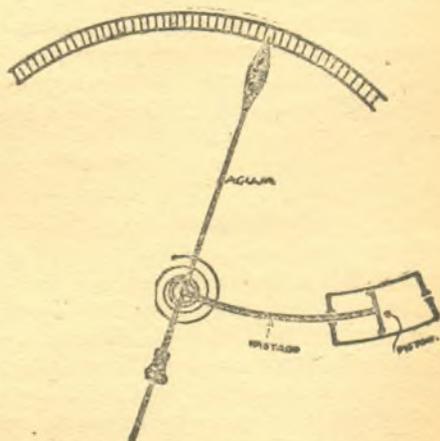


Fig. 194 A

Como el sentido de la corriente inducida en el cuadro de aluminio tenderá a evitar que el movimiento se produzca, resultará que la bobina móvil se amortiguará. Este sistema, repetimos, se emplea en los instrumentos de medición de tamaño reducido y en todos los empleados en radiotécnica.

Como el esfuerzo producido en el caso anterior es relativamente pequeño, no es eficaz para instrumentos de mayor tamaño, debido a que el sistema móvil es más pesado. Por lo tanto, se emplea un sistema adicional, o sea, el agregado de un imán cuyos polos están muy próximos y por medio de cuyo espacio de aire se pasa el borde de un disco de aluminio que, a su vez, está sujeto por su centro al eje del sistema móvil. De más está decir que,

cuando el sistema móvil se mueve, en el disco de aluminio se generará una corriente inducida que actuará de la misma manera que en el caso del cuadrado de bobina móvil.

En la figura 194 se puede ver un sistema de amortiguamiento magnético empleado en los instrumentos para usinas y formado por un pequeño electroimán.

DE AMORTIGUAMIENTO DE AIRE

Otro de los sistemas empleados en los instrumentos de medición, pero para tipos de tablero es el tipo de amortiguamiento de aire.

En la figura 194 A se puede ver claramente cómo trabaja y cómo es aproximadamente, en la práctica, el tipo de amortiguamiento de aire.

Sobre el eje de la bobina móvil, o sea del sistema móvil, se fija rígidamente un vástago que tiene sujeto en su extremo un pistón de pequeñas dimensiones, de aluminio, y que se mueve libremente dentro de un cilindro de metal. Cuando el sistema móvil tiende a moverse, hace que el vástago se mueva a su vez, de manera que el pistón comprime el aire que contiene el cilindro que es cerrado y con una pequeña abertura. Como el aire no puede salir rápidamente, resultará que queda amortiguado en su movimiento al pistón, y, por lo tanto, al sistema móvil. Este tipo es muy eficaz.

CALOR EN LOS INSTRUMENTOS

El fenómeno del calor es de mucha importancia en los instrumentos de medición, pues la variación de la temperatura hace que varíen las resistencias de los mismos, por lo cual afectan el valor de las mediciones. Por lo tanto, para las resistencias shunt como para las adicionales se emplean alambres especiales, con el fin de que la variación de su resistencia sea muy pequeña comparada a las variaciones de temperatura.

Para este fin se emplean alambres que se mantienen prácticamente constantes con la temperatura y son fabricados especialmente.

Estos tipos de alambres se conocen con los nombres de Constantan, Níquelina, Nichrom, etc. (Ver lección 11a.).

“BREVE COMENTARIO”

En la práctica es necesario emplear amperímetros voltímetros, tanto para corriente continua como para corriente alternada, lo que significaría la necesidad de cuatro instrumentos.

Tal cosa es casi imposible para los modestos recursos económicos de los experimentadores, que forman legión. Por esta razón se han fabricado miliamperímetros de suma precisión, que prestan inmensos beneficios a los que tienen un modesto laboratorio y escasos elementos.

En general, el experimentador tiene que realizar mediciones, tanto en corrientes continuas como en corrientes alternadas, de manera que pueda conocer los verdaderos valores de las tensiones e intensidades de las corrientes cuyos circuitos previamente fueron calculados.

Además, al experimentador se le presentaría un problema muy serio, que sería la necesidad de poseer un instrumento capaz de medir resistencias; pero, como veremos un poco más adelante, es posible suplir dicho instrumento con un miliamperímetro.

Las mediciones de corrientes alternadas se pueden realizar con un miliamperímetro de corriente continua y por intermedio de un rectificador construido para ese fin. Dicho rectificador está construido por discos recubiertos de óxido de cobre y tiene la cualidad de permitir el pasaje de la corriente a través de él en un solo sentido.

Esta particularidad permite utilizar, pues, al rectificador mencionado, en

combinación con un instrumento de corriente continua, para medir intensidades de corriente alternada.

En la lección 45a. presentaremos un proyecto de un instrumento de medición que es de inmensa utilidad para el experimentador y, por ende, para los alumnos de este curso, pues reúne las siguientes características: pueden medirse intensidades de corriente continua de cero a 1 miliamper; de cero a 10 miliamperes; de cero a 100 miliamperes; de cero a 1 amper y aún más, si se quisiera; además puede medir voltajes de corriente continua de cero a 1 Volt, de cero a 10 Volt, de cero a 100 Volt, de cero a 1000 Volt, etcétera.

En corriente alternada mide los mismos alcances de voltajes que en corriente continua. Además tiene una escala para medir resistencias de cero a 1000 Ohms; de cero a 100.000 Ohms y una tercera de cero a hasta más de 10.000.000 Ohms.

Además, este instrumento puede emplearse como medidor de salida para la calibración de los aparatos en la escala de corriente alternada.

Más tarde este instrumento será empleado para nuevas aplicaciones, a medida que las necesidades de los circuitos lo requieran. El costo aproximado del proyecto que se diseñará es relativamente módico.

ESCALAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION

Nos queda por estudiar las escalas y sus tipos empleados en los instrumentos de medición. Según la figura 195, puede verse que la escala es proporcional, es decir, que cada división de la misma es de igual magnitud y del mismo valor. En cambio, si se observa la figura 196, se podrá ver que no puede decirse lo mismo que en el caso anterior. Se ve claramente que

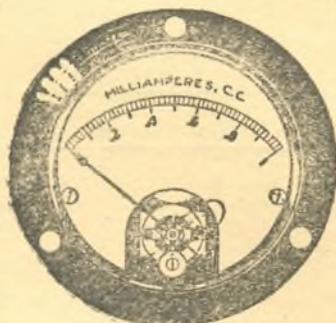


Fig. 195

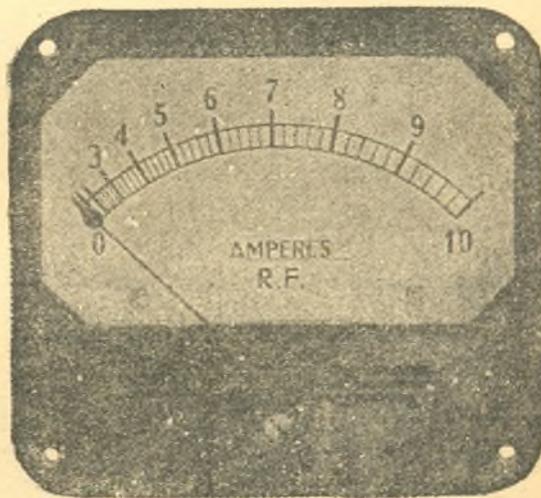


Fig. 196

las divisiones de la escala no son de la misma longitud, siendo, sin embargo, los valores iguales entre sí. A la primera se le denomina escala proporcional y corresponde a los instrumentos de corriente continua; en cambio, en la escala de la figura 196 las divisiones siguen a una ley determinada y es la que se emplea en los instrumentos de corriente alternada, y en los del tipo térmico.

Receptor con amplificación de alta frecuencia y válvulas de calentamiento indirecto

Uno de los aparatos más interesantes para los experimentadores, es el llamado tipo de "amplificación de alta frecuencia sintonizada". Este tipo de receptor permite obtener una selectividad y sensibilidad mucho mayor que la que es capaz de rendir un receptor formado por un simple detector.

En la lección 39a. se había presentado un receptor de tres válvulas, en el cual se hacía uso de una sola etapa de amplificación de esta frecuencia. Si el alumno tuvo la oportunidad de comparar este receptor con los anteriores, habrá notado la enorme diferencia que existe entre ambos y no sólo en la selectividad, sino también en la amplificación.

No hace muchos años, el tipo de receptor que presentamos fué muy usado en todo el mundo, pudiendo verse todavía en algunas casas de radioescuchas receptores de este tipo. El principio de funcionamiento, así como la sencillez para el armado, lo hacen ideal para que nuestros lectores puedan experimentar y resolver una gran cantidad de problemas cuya experiencia se requiere para los conocimientos subsiguientes.

Como en la lección 39a., daremos a conocer primeramente las válvulas que conviene emplear para el diseño; luego las características de las mismas. Además, iremos estudiando parte por parte, para que el lector se acostumbre a razonar mientras diseña o construye algún modelo. Y, por último, detallaremos la forma en que se construirá el receptor y distribución de partes, así como también el cálculo de cada parte que esté relacionado con los conocimientos adquiridos anteriormente.

Debemos poner en conocimiento de los alumnos, que en la lección 46a. se darán los detalles de la forma que se conecta una fuente de alimentación universal, o sea una fuente de alimentación que permita trabajar al receptor tanto en corriente continua como en corriente alternada, y también la forma que puede trabajar en una fuente de alimentación de 220 Volts, como de 110 Volts. Además, como se dará el diseño completo de un instrumento de medición, se indicarán las formas de medir los diferentes valores de las resistencias, voltajes, etc., para cerciorarse de si todos los circuitos trabajan correctamente.

Damos a conocer las características de las válvulas indicadas en la figura 197.

	6D6 Amplificador	6C6 Amplificador	76 Amplificador	
Tensión de filamento	6,3	6,3	6,3	Volts
Corriente de filamento	0,3	0,3	0,3	Amperes
Tensión de placa	100 250	100 250	100 250	Volts
Corriente de placa	8 8,2	2 2	2,5 5	Miliamperes
Tensión de pantalla (*)	100 100	100 100	— —	Volts
Corriente de pantalla (*)	2,2 2	0,5 0,5	— —	Miliamperes
Tensión de grilla	—3 —3	—3 —3	—5 —13,5	Volts
Conductancia mutua a	{—3} 1500 a 1600	{3—} 1185 a 1255	1150 a 1450	Microhmos
Conductancia mutua a	{—50} 2 2	{—7} Pract. cero	— —	Microhmos
Grilla supresora	Conect. al cátodo	Conect. al cátodo	— —	Volts
Resistencia de placa	0,25 0,8	1 1,55	0,012 0,095	Megohms
Coefficiente de amplificación	375 1280	1185 1500	13,8 13,8	—
Capacidad de grilla - placa (con blindaje)	0,007 máximo	0,007 máximo	2,8 máximo	Micro Micro Farad
Capacidad de entrada	4,7	5	3,5	" " "
Capacidad de salida	6,5	6,5	2,5	" " "
Tipo de base	6 patas	6 patas	5 patas	—

(*) En las lecciones siguientes emplearemos el término pantalla en lugar de grilla auxiliar, por comodidad de expresión.

RECEPTOR CON DOS ETAPAS DE ALTA FRECUENCIA SINTONIZADA

1.ª Etapa Aperlódica. - 2.ª Etapa Sintonizada

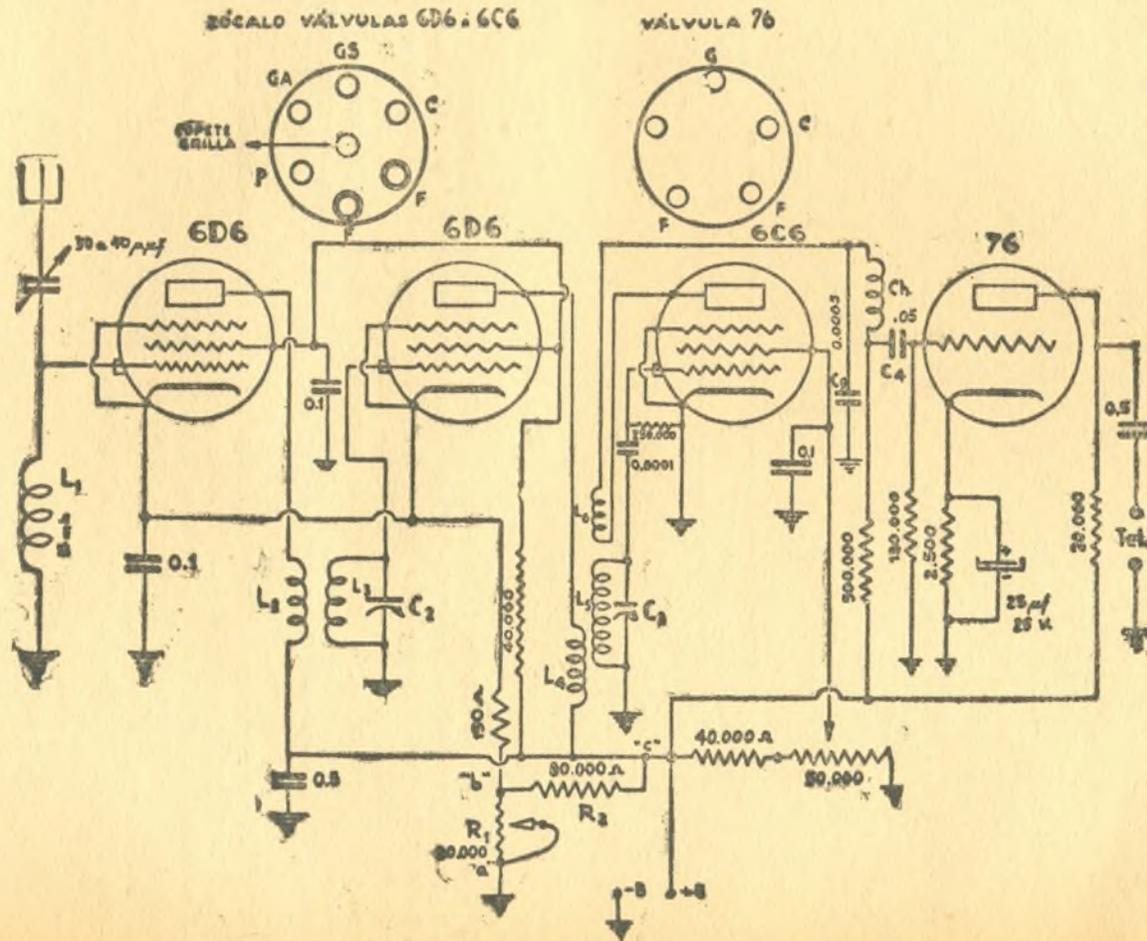


Fig. 197

NOTA: — Los filamentos no están indicados, pues se han estudiado en particular en el texto.

El tipo de válvulas 6D6 es de un diseño especial, llamado de supercontrol, porque son válvulas capaces de manejar grandes voltajes de alta frecuencia sin dejar de funcionar. En la lección siguiente, estudiamos en particular este tipo de válvula.

Si observamos las características de la válvula 6D6 se verá que se dan dos puntos de funcionamiento de la misma como amplificadora, porque es muy posible que trabaje en uno de los puntos indicados de la curva característica de funcionamiento.

Las cuatro válvulas a emplearse tienen filamentos de las mismas características, es decir, que cada una de ellas necesitará para su calentamiento una tensión de 6,3 Volts a una intensidad de 0,3 Amperes.

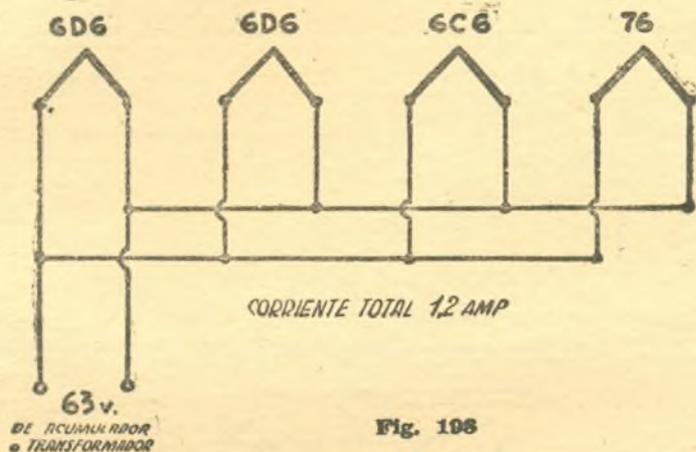


Fig. 198

Veamos las diferentes formas en que estos filamentos pueden alimentarse. Si conectamos todos los filamentos en paralelo, según lo indicado por la figura 198, necesitaremos una fuente de alimentación de 6,3 Volts capaz de entregar al circuito 1,2 Amperes. En la práctica, la única fuente de energía capaz de suministrar la necesaria para los circuitos de filamentos y de una manera económica, sería un acumulador del tipo empleado en los automóviles. No sería práctico utilizar las pilas secas en este caso, debido al elevado costo; además que difícilmente entregarían al circuito exterior la intensidad necesaria que en este caso requiere sin deteriorarse rápidamente.

Otra solución sería la de alimentar este circuito de filamentos por medio de la red de canalización, tanto en la red de 220 Volts como en la de 110. Recordemos que estas válvulas son de calentamiento indirecto, por lo cual el cátodo es calentado por el filamento. Por lo tanto, no importa mayormente qué tipo de energía eléctrica alimenta dicho circuito.

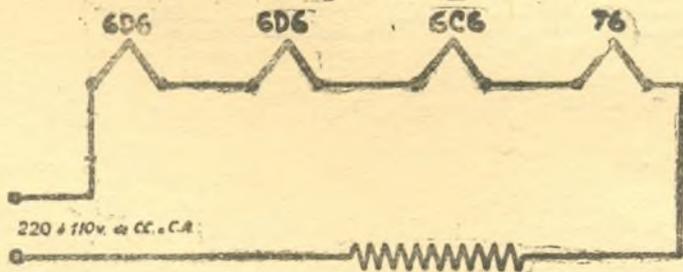


Fig. 199

Supongamos el caso de alimentar los filamentos por medio de la red de canalización. Si se emplea corriente alterna, puede emplearse un trans-

formador (fácil de hallar en las casas del ramo) que suministre 6,3 Volt a 1,2 Amp., lo que significaría una energía eléctrica de $6,3 \times 1,2 = 7,56$ Watts. Este consumo es tan pequeño, que no llegaría a hacer funcionar el medidor de la compañía de electricidad. Más tarde veremos que el consumo sobre la red de canalización es un poco mayor y que estudiaremos al calcular los transformadores de alimentación.

Otro método sería alimentar los circuitos de filamento a través de una resistencia, que, como recordarán los lectores, habíamos visto en la lección 11a. página 37.

Para poder conectar los filamentos a la red de canalización debemos calcular la resistencia que conectaremos en serie, para hacer posible lo que nos proponemos.

Veamos la figura 199, en la cual presentamos la forma de conectar los filamentos. Como puede verse, éstos se conectan en serie. Veamos la causa. Si tuviésemos que conectar los filamentos en paralelo y conectarlos luego a la red de canalización, la resistencia que deberíamos conectar en serie sería: La caída de tensión producida por los filamentos es de 6,3 Volts, por lo tanto la resistencia en serie debería tener un valor tal que la caída de tensión que producirá sea de 213,7 Volts. Como la corriente del circuito

$$\text{sería de } 1,2 \text{ amperes y como } R = \frac{E}{I} = \frac{213,7}{1,2} = 195 \Omega.$$

Si la corriente total del circuito de filamentos es de 1,2 amperes resultará que la energía absorbida es de: 220 Volts \times 1,2 Amperes igual a 264 Watts. Por lo cual se puede apreciar que la energía que absorbería el circuito es muy grande comparada con la que absorbería el transformador citado en primer término.

Veamos cómo se calcularía el circuito de filamento en el caso en que los filamentos se conectasen en serie. Como todos los filamentos necesitan producir una caída de tensión de 6,3 Volts para una misma intensidad de corriente, resultará que las cuatro válvulas producirán en conjunto una caída de tensión de $6,3 \times 4 = 25,2$ Volts. Por lo tanto, la resistencia que se conectará en serie con los filamentos para absorber la diferencia entre los 220 Volts de la red de canalización y la producida por los filamentos será de $220 - 25,2 = 194,8$ Volts, de manera que el valor de la resistencia será de $R = \frac{194,8}{0,3} = 650$ Ohms aproximadamente y la energía

que absorberá el circuito es de $W = E \times I = 220 \times 0,3 = 66$ Watts. Este consumo es ya aceptable, y sobre todo si se tiene en cuenta que esta manera de alimentar los filamentos es accesible casi en cualquier punto del continente.

Dejamos al criterio del alumno la forma en que alimentará el circuito de filamento del futuro receptor.

Pasemos a estudiar otra parte del circuito; por ejemplo, los cátodos de las válvulas que emplearemos.

Si observamos el esquema de la figura 197, veremos que las dos válvulas 6D6 trabajan como amplificadoras de alta frecuencia, la primera válvula 6D6 trabajará en un circuito sintonizado como el receptor de la lección anterior. Pero para nuestro caso las dos válvulas necesitarán el mismo potencial negativo para trabajar como amplificadoras, puesto que los voltajes aplicados a sus placas y grillas auxiliares (pantallas) son los mismos.

En este tipo de válvulas, 6D6, hay que tener en cuenta dos cosas: primero, la corriente de placa máxima, y segunda: la corriente de placa de corte, es decir, que si sobre la grilla de la válvula actúa un potencial que llega a anular la corriente de placa, ¿qué valor tiene el voltaje aplicado a la grilla

que ha producido la anulaci3n de la corriente de placa? En las caracteristicas dadas, se dan todos los valores necesarios.

Cuando el potencial negativo aplicado a la grilla de la v3lvula es de -3 Volts y cuando la tensi3n de placa es de 100 3 250 Volts, la corriente de placa es, aproximadamente, de 8 miliamperes, de manera que estamos en condiciones de calcular la resistencia de c3todo que conviene emplear para la correcta polarizaci3n de la v3lvula. Como la corriente de la grilla auxiliar es, aproximadamente, igual para 100 y 250 V., resultar3 que la corriente de c3todo total para ambos casos es la misma, es decir, que con los valores calculados la v3lvula podr3 trabajar con 100 3 250 V. en la placa y para las mismas tensiones sobre la pantalla. Por lo tanto, el valor de la resistencia de c3todo ser3 el resultado de dividir el voltaje de polarizaci3n de la grilla de la v3lvula, dividida por la corriente de c3todo, es decir: si la v3lvula necesita -3 Volts para su correcta polarizaci3n para trabajar como amplificadora y la corriente de c3todo para este punto de funcionamiento

es de $8 + 2 = 10$ miliamperes, por lo tanto $R_c = \frac{3}{0,01} = 300 \Omega$.

Seg3n resulta de lo calculado, la resistencia de c3todo para cada v3lvula 6D6 es de 300 Ohms, pero podemos hacer funcionar las dos v3lvulas con los c3todos unidos, puesto que se necesita el mismo potencial. Si conectamos los dos c3todos, la corriente total ser3 20 miliamperes, puesto que por la resistencia de c3todo que conectaremos pasar3 la corriente de ambas v3lvulas. As3, que para producir una ca3da de tensi3n de -3 Volts se

necesita $\frac{3}{0,02} = 150$ Ohms, o sea exactamente la mitad de una v3lvula,

de lo cual, l3gicamente, puede verse la raz3n.

Como en el tipo de v3lvula 6D6 los voltajes que puede manejar son muy elevados comparados a la polarizaci3n fija, habr3 que conectar en el circuito un control especial, de manera que la v3lvula pueda trabajar correctamente y, adem3s, aprovechar sus caracteristicas especiales. Si se observa la caracteristica de dicha v3lvula se ver3 que el voltaje de polarizaci3n que permite el corte de la corriente de placa de -50 Volts, de modo que, en el caso de que dicha v3lvula fuese excitada por una tensi3n en el circuito de grilla de alta frecuencia de 50 Volts, resultar3 que, si no se tienen precauciones especiales, la v3lvula dejar3 de trabajar como amplificadora, tal como se desea. Por esta raz3n, si se observa en el circuito de la figura 197, en el circuito de c3todo, adem3s de la resistencia calculada de 150 Ohms se halla en serie con la misma un potenci3metro, o sea una resistencia variable, cuyo valor calcularemos en seguida y que nos permite aumentar el potencial negativo de la v3lvula cuando la se3al de la estaci3n que escuchamos es excesivamente intensa.

Como el potenci3metro referido debe producir una ca3da de tensi3n de unos 50 V., para aprovechar, como ya dijimos, las caracteristicas de la v3lvula, habr3 que calcularla convenientemente. Como la corriente de placa, cuando el potencial de la grilla es de -50 V., es pr3cticamente cero, la resistencia de c3todo deber3 tener un valor infinitamente grande para producir esa ca3da de tensi3n. Por lo tanto, no podemos obtener la ca3da de tensi3n necesaria aprovechando la corriente de placa, como en los casos ya conocidos. Para poder resolver este peque3o tropiezo recurrimos a un artificio, aprovechando los conocimientos que poseemos de ca3das de tensi3n. Supongamos que nos valemos de una resistencia adicional R_2 para conectar en serie con R_1 , o sea el potenci3metro. Supongamos que entre los puntos "a" y "b" la ca3da de tensi3n debe ser de 50 V. y la ca3da de tensi3n entre "b" y "c" debe ser igual a la diferencia entre la tensi3n de la bate-

ría "B" de placa y la del potenciómetro R_1 . Si suponemos que el voltaje de la fuente de alimentación de los circuitos de placa es de 250 V., resultará que la caída de tensión que se producirá entre "a" y "c" será de 250 V. Como la corriente que atravesará el circuito formado por R_1 y R_2 depende de los valores elegidos para éstos, nos conviene, para facilitar el cálculo, prescindir, por un instante, de la corriente de cátodo que circula por R_1 , puesto que la resistencia de 150 Ohms está conectada al punto "b" del circuito que estamos estudiando.

Si las caídas de tensión son proporcionales a los valores de las resistencias, tendremos que, si hacemos la resistencia total del circuito "a" "c" igual a 100.000 Ohms, resultará que la intensidad de la corriente que atravesará la resistencia será de 250 dividido 100.000, o sea que la intensidad de la corriente es de 0,0025 Amp., o sea 2,5 miliamperes. Ateniéndonos a lo calculado, la resistencia R_1 para que produzca una caída de tensión de 50 V. deberá tener un valor de: 50 V. dividido 0,0025 A., es decir, 20.000 Ohms; por lo tanto, el valor de R_2 deberá ser de 80.000 Ohms. Estos valores pueden tomarse como definitivos, puesto que, siendo variable R_1 , automáticamente se regulará la caída de tensión en el potenciómetro, de acuerdo a la intensidad de la corriente que se agregue por la corriente de cátodo. La resistencia de 150 Ohms queda conectada siempre, porque, en el caso de una señal débil, habrá que corregir el potencial negativo y no se correrá el riesgo de que al hacer girar el potenciómetro, éste haga que la resistencia de cátodo sea igual a cero y, por lo tanto, la grilla se encontrará a un potencial cero, lo que significaría que la corriente de placa aumente enormemente y, además, que es lo más importante, se corre el riesgo de que la válvula deje de trabajar como amplificadora.

En los aparatos de fabricación extranjera se pueden encontrar comúnmente potenciómetros contruidos de tal manera que en un extremo siempre queda una resistencia de 100 a 300 Ohms, según el tipo.

Queda, pues, resuelto otro problema del proyecto. Por lo tanto, coloquemos los valores calculados en el esquema de la figura 197.

Pasemos a estudiar el circuito de cátodo de la válvula detectora, que esta vez será un pentodo moderno, pero emplearemos un tipo de detector como los anteriores. Si se trata de un detector por curvatura de grilla resultará que la grilla de dicha válvula sin señal trabajará a un potencial cero. Como esta válvula es de un tipo 6C6 y el factor de amplificación es muy grande, resultará que dicha válvula es de una gran sensibilidad.

Como ya dijimos, el detector es por curvatura de grilla; por lo tanto, conectaremos el cátodo al negativo de "B".

Veamos, por último, qué resistencia de cátodo le corresponderá a la válvula que elegimos para amplificar las señales de baja frecuencia, que es una del tipo 76.

Si observamos las características de la válvula vemos que para trabajar con 250 V. en el circuito de placa el potencial negativo debe ser de -13,5 V. y la corriente de placa es de 5 miliamperes para ese punto de funcionamiento.

Calculemos entonces el valor que le corresponde, por lo tanto:

$$R_c = \frac{13,5}{0,005} = 2700 \Omega.$$

En la práctica sería muy útil encontrar una resistencia de ese valor, de manera que puede emplearse una de un valor aproximado, por ejemplo: 2500 Ohms. Anotemos en el circuito el valor calculado.

Hemos calculado todos los valores de los circuitos de cátodo: veamos cómo diseñaremos los circuitos de grillas. Empecemos por la primera válvula, 6D6. Como dijimos antes, por razones de sencillez emplearemos un

circuito de grilla aperiódico, que lo formaría un bobinado en forma de choke. Recordemos que este circuito, si es aperiódico, no debe resonar en ninguna frecuencia de trabajo. Por lo tanto, conviene emplear una inducción bastante elevada, por ejemplo, 15 Milihenrys, o sea 15.000 μ h. Este sistema de circuito de grilla permite trabajar al amplificador perfectamente bien, pero no se obtiene la misma amplificación que en el caso de la etapa siguiente. Tampoco la selectividad es muy grande, y por esta razón se ha conectado en el circuito de la antena un pequeño condensador variable, con el fin de reducir la intensidad de la señal (por reactancia capacitativa) como se desee. Esta capacidad puede ser de unos 30 a 40 micromicrofarad., o sean, en la práctica, unas tres o cuatro placas de un condensador variable del tipo Midget (pequeño).

El acoplamiento entre la placa de la primera válvula amplificadora de alta frecuencia se acopla con la grilla de la segunda válvula amplificadora, 6D6, por medio de un circuito similar al empleado en la lección 39a., y cuyas características fueron en la misma lección.

La placa de la válvula de la segunda etapa de amplificación de alta frecuencia se acopla al circuito de grilla de la válvula detectora por medio de un circuito similar al de L_2 L_3 y de los mismos valores, con el agregado de una bobina más, que veremos en seguida y que nada tiene que ver con el circuito de acoplamiento. El circuito de la placa y de la detectora como podrá verse, está formado por un bobinado que está acoplado con los otros bobinados L_4 y L_5 . Si el voltaje aplicado a la válvula por el circuito de la pantalla es muy pequeño, resultará que se reducirá la corriente de placa por las razones ya estudiadas, y por lo tanto el factor de amplificación será muy pequeño y la señal amplificada también. Si el voltaje aplicado a la pantalla es elevado, la corriente de placa aumentará y, por lo tanto, también el factor de amplificación de la válvula. El aumento de amplificación en esta válvula da origen a que entre los circuitos de grilla de esta válvula y la placa de acoplamiento sea muy fuerte, de manera que la válvula deja de trabajar en este instante como detectora y empieza a funcionar como una osciladora, o sea como un generador de energía de alta frecuencia.

Este fenómeno lo estudiaremos más adelante. Este fenómeno se nota debido al aumento de sensibilidad del receptor, y, a la vez que la señal va acompañada por un sonido muy agudo, que se puede hacer desaparecer si tenemos la precaución de colocar un control variable al voltaje de la pantalla.

En la figura 197 puede verse representado a dicho control por un potenciómetro que podría ser de unos 50.000 Ohms. El acoplamiento entre la placa de la válvula detectora y la amplificadora de baja frecuencia se realiza de la manera ya conocida en la teoría y en la práctica por nuestros lectores. Según la característica de la válvula 6C6, la resistencia interna de la válvula 6C6 es de 1,5 Megohm, pero no es posible emplear un valor tan elevado, por razones de estabilidad. Pero no olvidemos que la válvula mencionada no trabaja en las condiciones dadas en las características. Conviene recordar, para estudios posteriores, que el valor de la resistencia de carga de placa de la válvula 6C6 o similares no debe ser superior a 500.000 Ohms; pudiendo ser ésta entre ese valor y 250.000 Ohms. En nuestro proyecto podemos emplear el valor de 500.000 Ohms. A pesar de lo dicho anteriormente, algunos diseñadores, por razones de conveniencia, emplean el valor indicado en las características de la válvula.

Queda por estudiar el acoplamiento entre el circuito de placa de la válvula detectora y la grilla de la válvula amplificadora 76. Supongamos que queremos emplear en el circuito de grilla una resistencia que permita una buena reproducción. Si recordamos los valores empleados en la lección 36a., en la cual se había calculado un amplificador de tensión en el que hallamos

como valor óptimo para el condensador de acoplamiento de $0,05 \mu f$ y para la resistencia de escape de grilla 130.000 Ohms . La resistencia de carga de placa puede ser, según las características de la válvula 76, de unos 20.000 Ohms , pues la resistencia interna es de 9.500 para cuando la válvula trabaja con 250 V .

El teléfono o el altoparlante lo conectaremos al circuito de la placa de la válvula amplificadora de baja frecuencia por intermedio de un condensador de $0,5 \mu f$ y tierra, como puede apreciarse en la figura 197. Los condensadores adicionales que figuran en los circuitos de cátodo, grillas auxiliares, etc., los estudiaremos con todo detalle en las lecciones subsiguientes. Para evitar que la corriente de alta frecuencia en el detector pase al circuito de placa se ha conectado un choque del tipo usado por los lectores y un condensador de $0,0005 \mu f$.

En el circuito de grilla auxiliar las dos válvulas de amplificación de alta frecuencia se han conectado juntas, puesto que ambas requieren el mismo potencial; como este potencial debe ser menor que el suministrado por la fuente de alimentación de placas, resultará que hay que reducirlo para ser útil al circuito que mencionamos.

Por esta razón se conectó el circuito de pantallas a través de una resistencia cuyo cálculo es el siguiente: si, según las características de las válvulas, la corriente de pantalla para cada válvula es de 2 miliamperes aproximadamente, resultará que, juntas, sumarán 4 miliamperes. Como la fuente de alimentación proporciona 250 V , resultará que debe producirse una caída de tensión de 150 V , pues el circuito de pantalla sólo necesita 100 V . Por lo tanto, el valor de la resistencia deberá ser de 150 V dividido por $0,004 \text{ A}$, lo que sería igual a 37.500 Ohms . Como en la práctica no es posible conseguir fácilmente este valor, podrá utilizarse perfectamente una resistencia de 40.000 Ohms .

Los condensadores variables serán del tipo tándem de dos secciones iguales y sus correspondientes trimmers, cuya capacidad por sección será de $0,00035 \mu f$.

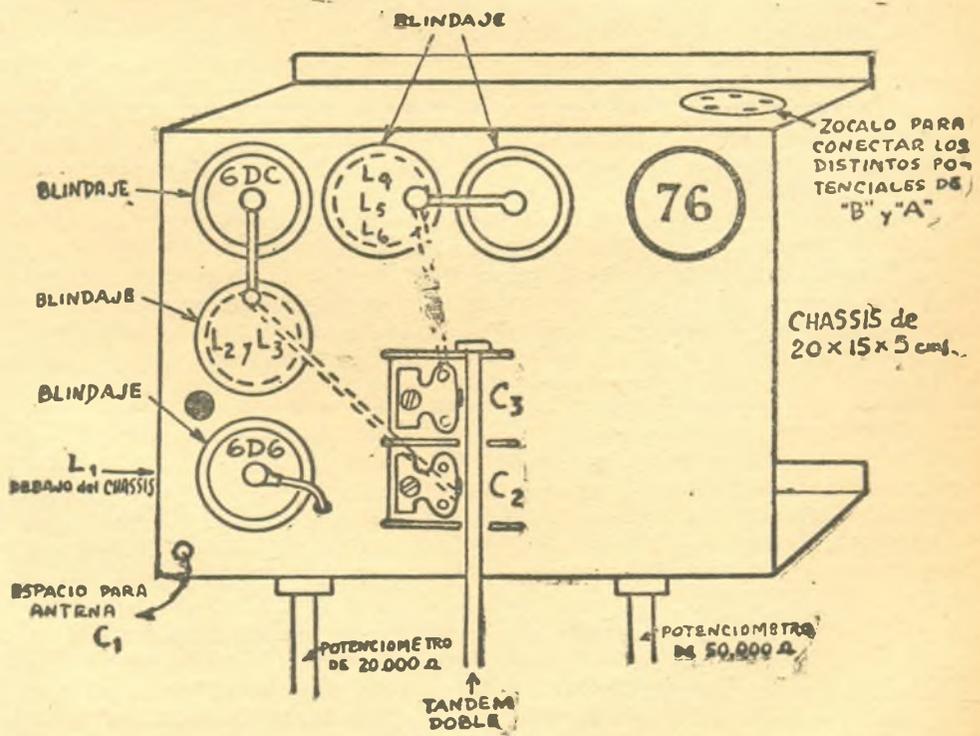


Fig. 200

Como verá el alumno, el diseño del receptor se ha realizado de una manera sencilla y nos encontramos en condiciones de construirlo, con la plena seguridad de que todos los valores serán los correctos, lo cual nos evitará el engorroso trabajo del tanteo, que es la pesadilla de los técnicos que no conocen el sencillo razonamiento y los cálculos y la sencillez que los lectores habrán podido apreciar.

Antes de hablar sobre el armado del receptor, veamos cómo montaremos los elementos que lo componen. Si observamos la figura 200 se podrán obtener todos los detalles necesarios que corresponden a la distribución más correcta.

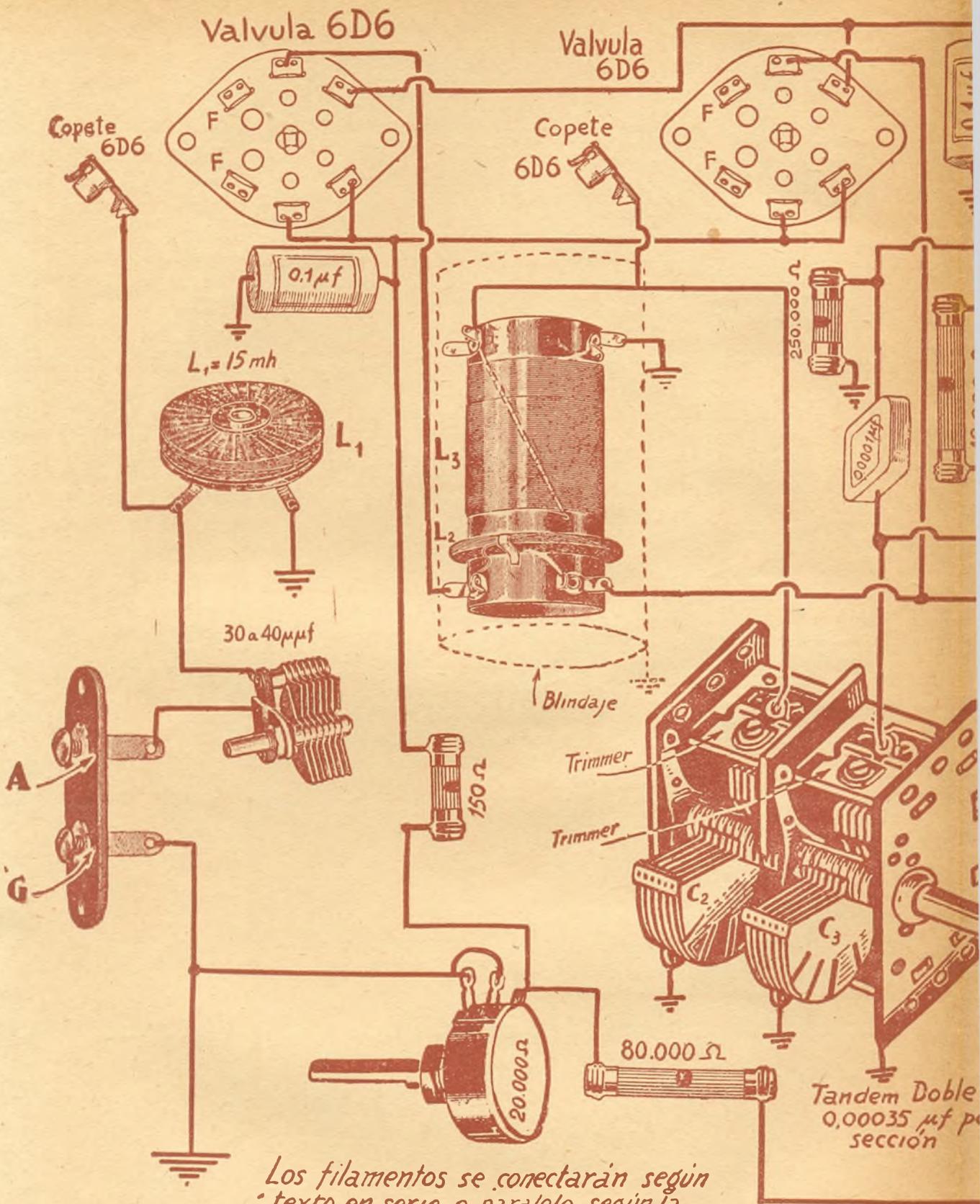
En la figura 201 se indican todas las conexiones de una manera esquemática. El chasis que se empleará para la construcción del receptor debe ser lo más rígido posible, para evitar cambios en la calibración del aparato, siendo conveniente emplear chapa de hojalata, que es fácil de cortar y también muy fácil de soldar las conexiones indicadas con el signo de chasis.

El funcionamiento es similar al presentado en la lección 39a., con la diferencia que en lugar de utilizar la sintonía por medio de dos condensadores separados se efectúa por medio de un condensador doble, que tiene en la parte superior, y para cada sección, un pequeño condensador ajustable llamado comúnmente "trimmer". Este permite el ajuste final de los circuitos de sintonía de manera que entren en resonancia para un mismo punto del recorrido del condensador los circuitos formados por $L_3 C_2$ y $L_5 C_3$. De esta manera se evita realizar independientemente la sintonía de los dos circuitos.

Para ajustar las bobinas L_3 y L_5 se sintoniza primero una estación con el tandem todo abierto y se retocan los trimmers hasta la máxima intensidad; luego se trata de sintonizar una estación con el tandem todo cerrado y se retoca el trimmer, el condensador C_2 . Si al realizar este ajuste el punto máximo de intensidad es el mismo que el que corresponde a la estación sintonizada con el tandem todo abierto, quiere decir que las bobinas están perfectamente bien calibradas. Si tal cosa no sucediese, se podrá hacer lo siguiente (sin tocar el trimmer del condensador C_3 para nada): Si la máxima intensidad se obtiene con el condensador cerrado y cuando el trimmer de C_2 se ha tenido que apretar para lograr tal cosa, quiere esto decir que la bobina L_3 es chica, de manera que se aumentará a ésta una espira más y se vuelve a probar de la misma manera. Y si todavía no se consigue el mismo punto para las dos posiciones del condensador variable, se volverá a aumentar otra espira, y así hasta obtener un perfecto alineamiento de los dos circuitos. Pero puede suceder lo contrario a lo supuesto en el caso anterior, para lo cual L_3 resultaría grande con respecto a L_5 , de manera que tendrán que sacar espiras hasta obtener el resultado que se necesita para el perfecto funcionamiento del receptor y que sería el caso que se calibra el trimmer de C_2 con el tandem abierto y una vez cerrado y sintonizada una estación, el mismo trimmer se tuviese que aflojar para lograr mayor intensidad.

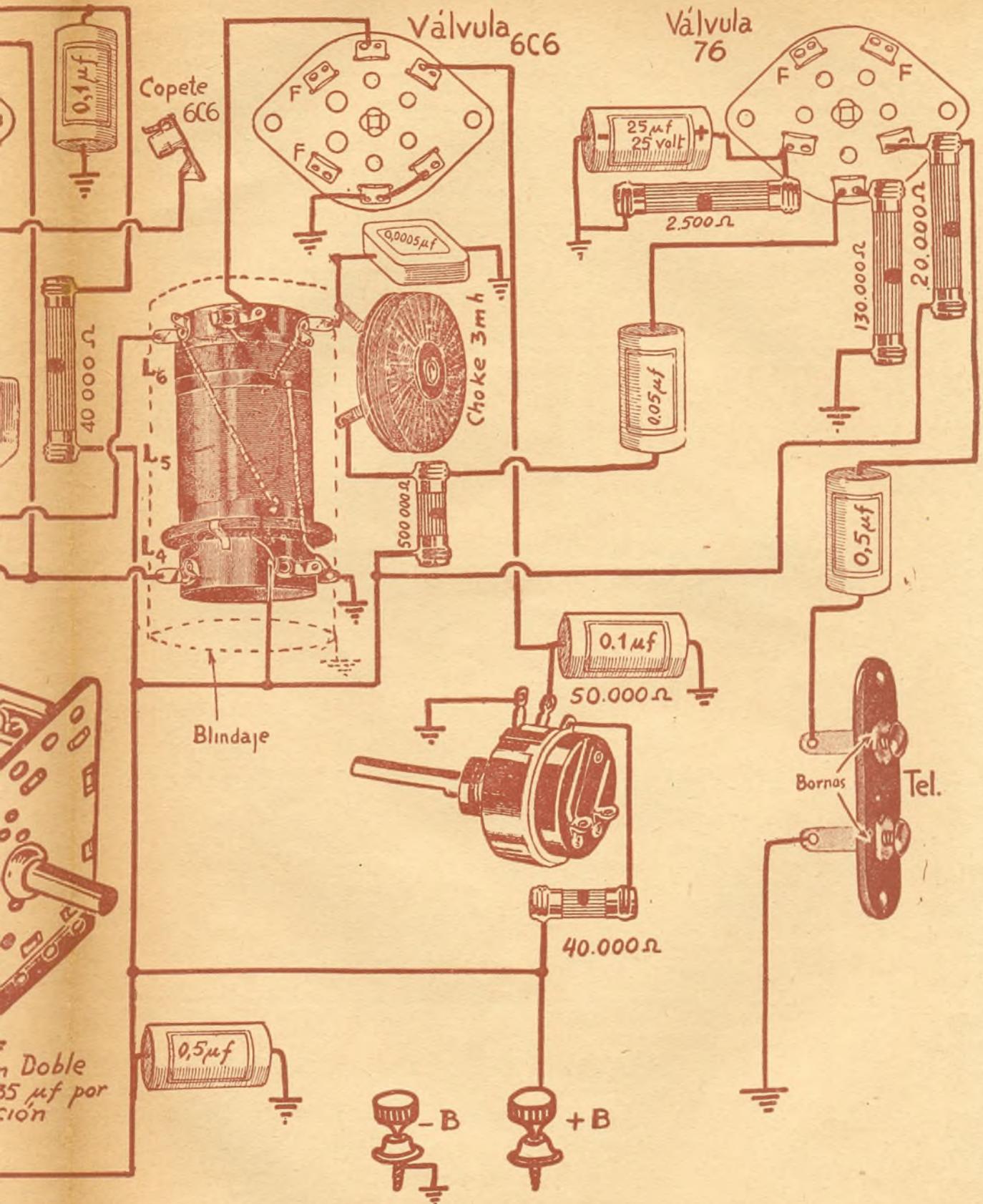
Recordemos que las estaciones que conviene emplear para estos ajustes por la frecuencia en que irradian sus programas son: para cuando el tandem esté casi todo abierto, LS6 u otra estación próxima en frecuencia; para cuando el tandem esté todo cerrado, la estación a escuchar debe ser LS10 o próxima. Conviene tener en cuenta este detalle para asegurarse la calibración perfecta de las bobinas y además, la de poder oír todas las estaciones.

El potenciómetro conectado en el cátodo de las válvulas amplificadoras de alta frecuencia sirve como un control de volumen y a la vez de sensibilidad. El potenciómetro de 50.000 Ohms conectado en el circuito de grilla auxiliar de la detectora también actúa de control de volumen y, a la vez, permite captar estaciones que pasarían inadvertidas por su poca intensidad. Esto sucede porque si se aumenta el voltaje de la pantalla, el de-



Los filamentos se conectarán según texto, en serie o paralelo, según la fuente de alimentación a emplearse.

NOTA. — Los valores de L_3 y L_2 como los de L_4 y L_5 son los mismos que



...mos que los del número anterior. L_6 es de $30 \mu h$ y separada de L_5 por 3 mm.

tector actuará como un oscilador y la estación se hará presente con un sonido muy agudo en los teléfonos y luego, reduciendo el voltaje con el potenciómetro, el sonido agudo desaparece y se oye la estación perfectamente bien.

El potenciómetro de cátodo evitará que una señal demasiado fuerte anule la recepción con sólo aumentar el potencial negativo de las válvulas amplificadoras.

La lista de materiales se puede obtener de los esquemas de las figuras 197 y 201.

La fuente de alimentación de los circuitos de placa puede obtenerse por medio de algún equipo especial de alimentación de "B" o por medio de baterías, pudiendo emplearse hasta 90 Volts si no se tuviese otra fuente de energía eléctrica. Claro está, siempre que sea de corriente continua.

En la lección 45a. se verán distintos tipos de fuentes de alimentación.

43a. LECCION

Distintos tipos de válvulas de calentamiento.- Pentodos del tipo supercontrol - Rectificadores de corriente.

Todos los tipos de válvulas que hemos visto y empleado en lecciones anteriores de cátodo de calentamiento directo, tienen su similar en los del tipo de calentamiento indirecto. Como la alimentación de los filamentos que calientan el cátodo pueden ser alimentados por la red de canalización o por medio de un sistema indirecto (transformador), resulta que pueden fabricarse filamentos que pueden desarrollar una temperatura bastante elevada, dando origen a la construcción de cátodos de tipo especial capaces de entregar gran cantidad de electrones libres.

Aprovechando la economía que resulta de alimentar los filamentos por medio de la red de canalización, se han construido válvulas de una gran sensibilidad para circuitos de amplificación de alta y baja frecuencia. Además se ha conseguido obtener válvulas para amplificación de baja frecuencia para excitar el altoparlante de una gran energía de salida, gracias al tipo de filamento y cátodo de nuevo diseño y alimentado como dijimos antes.

En general, desde que se fabrican válvulas de calentamiento indirecto, la radiotécnica dió un enorme salto para su definitiva consagración.

VALVULAS DEL TIPO SUPERCONTROL

Las válvulas del tipo denominado de supercontrol y también conocidas con el nombre de "mu" variable han dado un gran impulso, en lo que a calidad se refiere, en los amplificadores de alta frecuencia, pues por intermedio de dichas válvulas se consigue trabajar con voltajes relativamente elevados sobre la grilla sensible misma sin que peligre, de una manera sensible, la calidad del amplificador.

Veamos de qué se trata: Si una válvula de amplificación de alta frecuencia cuyas características son tales, que para trabajar correctamente, la polarización de la grilla debe ser de -3 V. para cuando el voltaje de la placa es de 250 V. y el de la pantalla de 100 V. En estas condiciones la intensidad de la corriente de placa es de 2 M.A., como podrá verse en la curva de la figura 202, indicada curva "B". Esta curva corresponde a la carac-

terística de grilla de la válvula tipo 57 que es un pentodo amplificador especial para trabajar con tensiones de alta frecuencia.

¿Qué sucederá si a dicha válvula se le aplica una señal de tres Volts de frecuencia elevada, que podría ser la de una estación de broadcasting muy próxima a la antena del receptor? Pues en estas condiciones la válvula rendirá el máximo de tensión amplificada en el circuito de placa de la misma. Pero si en lugar de una tensión de tres Volts se le aplica una tensión de 10 Volts, ¿qué sucederá? Lo que resulta es que el punto de funcionamiento de la válvula dejaría de ser el indicado en la característica de la válvula como óptima. Si tomamos en consideración, como ejemplo, que dicha tensión de 10 V. se aplica a la válvula, estando ésta polarizada a -3 V., resultará que en un semiciclo de la señal la tensión de la grilla se hará 13 V. negativos y en el otro semiciclo 7 V. positivos. Veamos qué resulta de esto. Si observamos la curva "B" de la figura 202 veremos que la corriente de placa de la válvula se anula cuando la polarización de la grilla es aproximadamente -7 V. de manera que, cuando se aplique a dicha grilla un voltaje negativo de -10 , la grilla se encontrará a un potencial de -13 V., de modo que la corriente de placa quedará anulada en una buena parte del semiciclo negativo. Cuando sobre la grilla de la válvula actúe el semiciclo positivo resultará que la polarización de la grilla se hará positiva en 7 V., lo que significaría que en el circuito de la grilla circulará una corriente de gran intensidad; lo mismo sucederá con la corriente de placa que se elevará por la parte de saturación de la característica de placa, peligrando, por lo tanto, la válvula. Vemos claramente entonces, que se introducirá en el circuito de la placa una deformación de la forma de onda aplicada al circuito de la grilla. Además hemos notado que, durante una parte del semiciclo negativo, la corriente de placa quedaba anulada de manera que la válvula trabaja claramente como una detectora; por lo tanto, el lector se dará cuenta, por esta otra razón, de que la válvula no trabaja en las condiciones que corresponden a una válvula amplificadora.

Podríamos proponer una solución al problema; veamos si podemos salvar el inconveniente antes analizado. Supongamos que el potencial de la válvula empleada en el ejemplo anterior se le aplica una polarización fija de 5 V. negativos en lugar de -3 V.; si realizamos el análisis de la misma manera que en el caso anterior, veremos que sucederá algo análogo con este nuevo punto del funcionamiento. Si aumentamos la polarización de la grilla aún más resultará que la válvula cuando no tiene aplicada señal sobre la grilla de la válvula, la corriente de placa será prácticamente nula. Por lo tanto, el lector se dará cuenta de que esta válvula no podrá trabajar en ningún momento con señales superiores a 3 V., puesto que se corre grave riesgo de introducir una gran deformación en la forma de onda de la señal y, por lo tanto, desnaturalizaríamos la calidad del amplificador, que, por otra parte, no trabajaría como tal.

Veamos ahora qué nos dice la curva de la válvula indicada como "Curva A" de la figura 202. Esta curva pertenece a una curva del tipo igual a la anterior, pero su grilla es de una construcción especial, como veremos después. Esta válvula es del tipo 58.

La válvula trabaja en las mismas condiciones de potencial de grilla, placa y grilla auxiliar a la válvula anterior. Si observamos la curva A veremos que la corriente de placa es de 8 M. A. para una polarización de -3 V. sobre el circuito de grilla.

Si repetimos con esta válvula el proceso anterior, veremos que si aplicamos una señal de 3 V. sobre el circuito de grilla la válvula trabajará en óptimas condiciones. Ahora apliquemos una señal de 10 Volt como en el caso anterior: Veremos en seguida que cuando sobre la grilla actúa el semiciclo negativo la polarización llegará a un valor igual a -13 V., es decir,

que la corriente de placa no se anula como con la otra válvula, pues la corriente de placa adquiere un valor de 2,3 M. A., y cuando sobre la grilla actúa el semiciclo positivo, es decir, que la grilla llega hasta el valor de 7 V. positivos, la corriente de placa es sumamente intensa, circulando tam-

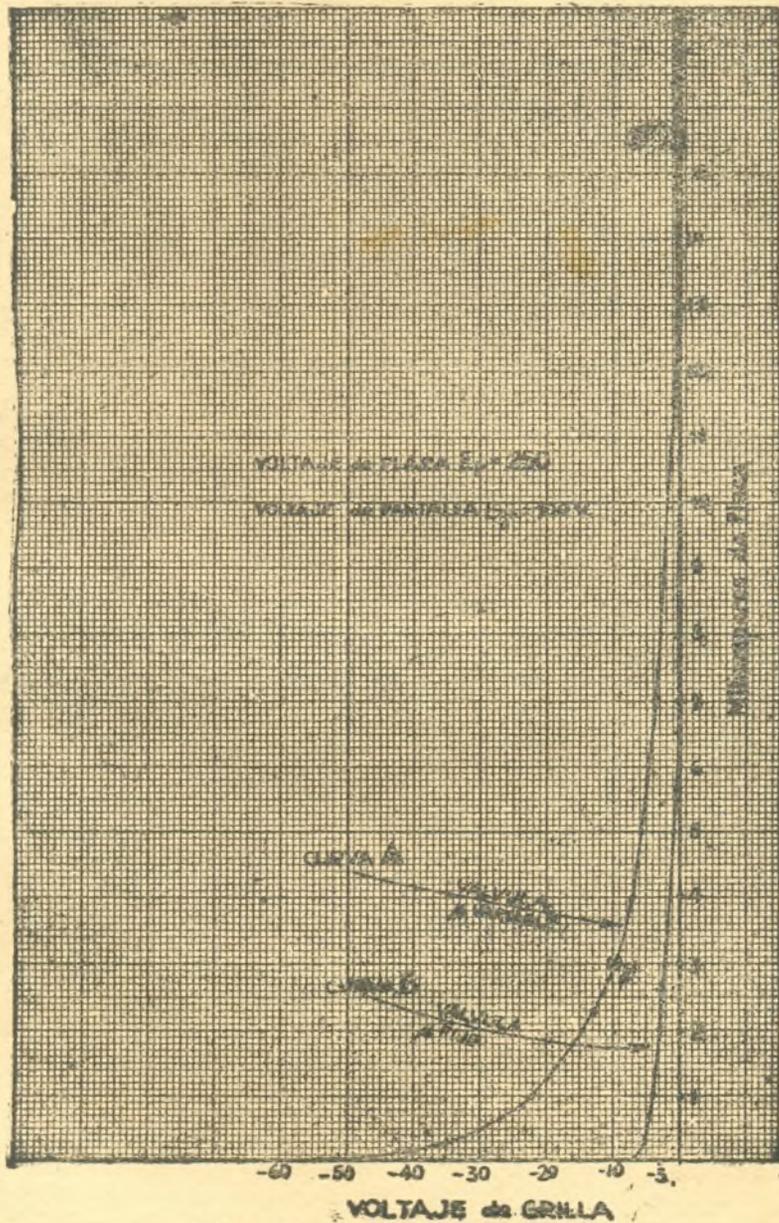
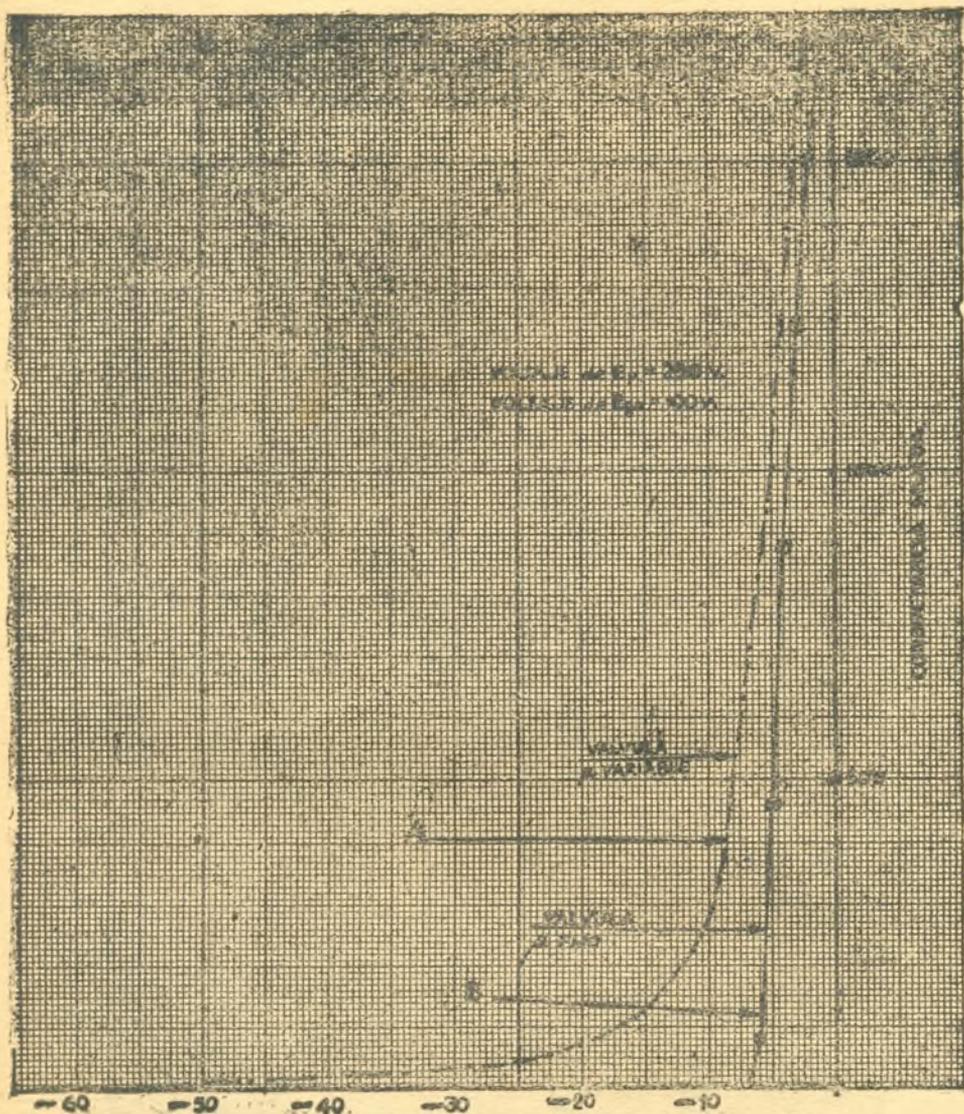


Fig. 202

bién, como en el caso anterior, corriente en el circuito de la grilla. En principio, el lector se dará cuenta de que por el hecho de no haberse anulado ninguno de los semiciclos, si bien la amplificación no se produce de una manera perfecta, la válvula no deja de funcionar en ningún momento. Si ahora, en estas mismas condiciones de señal, es decir, que aplicamos la misma señal sobre el circuito de la grilla, pero con una polarización distinta, por ejemplo 10 V. negativos, veamos lo que sucede.



VOLTAJE de GRILLA

Fig. 203

El punto de funcionamiento de la válvula se ha desplazado al punto "F" de la curva y la corriente de placa de la válvula sin señal es de 3 M. A. Si ahora aplicamos la señal de 10 V., veremos que en el semiciclo negativo de polarización de la grilla llegará a un valor máximo de -20 V., en la cual la corriente de placa es 1,3 M. A., es decir, que no se anula tampoco el semiciclo negativo como en el primer caso. Durante el semiciclo positivo la polarización de la reja llega hasta el valor de cero, por lo cual la corriente de placa es de 13 M. A. y del mismo valor que cuando la válvula estaba trabajando en condiciones normales; es decir: que por el circuito de la grilla no hay corriente, lo que significa que la válvula está trabajando en perfectas condiciones como amplificadora. Lo mismo sucedería si aplicamos a la válvula tensiones hasta de 25 Volts. Siempre que la polarización sea correcta, la válvula trabajará en perfectas condiciones como amplifi-

cadora y para casos extremos en que la estación sintonizada sea extremadamente intensa por su cercanía. El lector puede ver claramente la diferencia que existe entre las dos válvulas que acabamos de estudiar y que ambas han sido diseñadas para amplificar señales de alta frecuencia. Si se quisiera ver con más claridad el problema propuesto, bastaría observar la figura 203 en la cual se indica la variación de la conductancia mutua de ambas válvulas estudiadas. En la curva A se puede apreciar que la conductancia de la válvula se hace cero para una señal cuyo voltaje es de unos —55 Volts; en cambio en la curva B, que corresponde a la válvula del tipo 57 estudiada, la conductancia de la válvula se hace cero para una señal de unos —7 Volts aproximadamente.

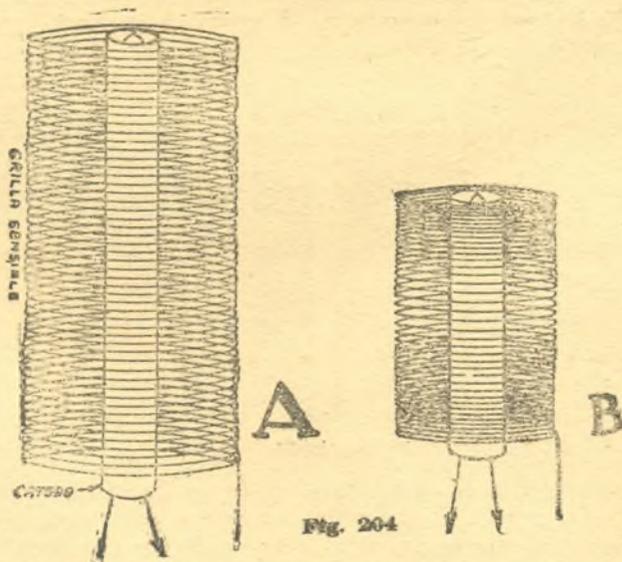
Como la válvula cuyas características estudiamos, y en la que puede variarse el punto de funcionamiento, se le conoce con el nombre "Mu" variable, por la razón de que su factor de amplificación (μ) puede variarse variando la polarización de la misma.

Esto puede hacerse de una manera simple como en el receptor propuesto en la lección anterior.

En la lección anterior se diseñó un receptor en el cual se emplean válvulas de este tipo para el amplificador de alta frecuencia y como detectora una válvula del tipo 57 o si se quiere de "mu" fijo.

Si a este tipo de válvula 58 o similar se le llama de "supercontrol", se debe precisamente al hecho de que la construcción de la grilla de la válvula es de tipo especial y hace que el factor de amplificación de la misma varíe automáticamente. Veamos la causa.

Si observamos la figura 204 A, veremos de una manera esquemática la parte interna de la válvula del tipo 57 u otros similares, en la cual la grilla tiene sus espiras colocadas de una manera perfectamente simétrica; en cambio, cuando se trata de una válvula "mu" variable, la grilla tiene la construcción de la figura 204 B en la cual se puede observar que las espiras que constituyen la grilla no están colocadas de la misma manera del anterior, sino que en los extremos de la grilla, las espiras están fijadas muy juntas una al lado de las otras; en cambio, por la región central de la grilla misma las espiras están separadas por una distancia relativamente grande.



Veamos cuál es la causa por la cual la grilla es de construcción distinta en las válvulas de "mu" variable con respecto a la primera, pues la construcción de ambas en lo que respecta a los otros electrodos es exactamente la misma.

Si a las válvulas de la figura 204 les efectuáramos un corte de manera tal que pudiésemos ver la forma en que se distribuyen los electrones que se dirigen hacia las placas, tendríamos las figuras A y B de la 205.

La figura 205 muestra en A y en B en condiciones iguales de polarización cómo se distribuye el flujo electrónico, tanto en la válvula del tipo 57 de "mu" fijo como del tipo supercontrol.

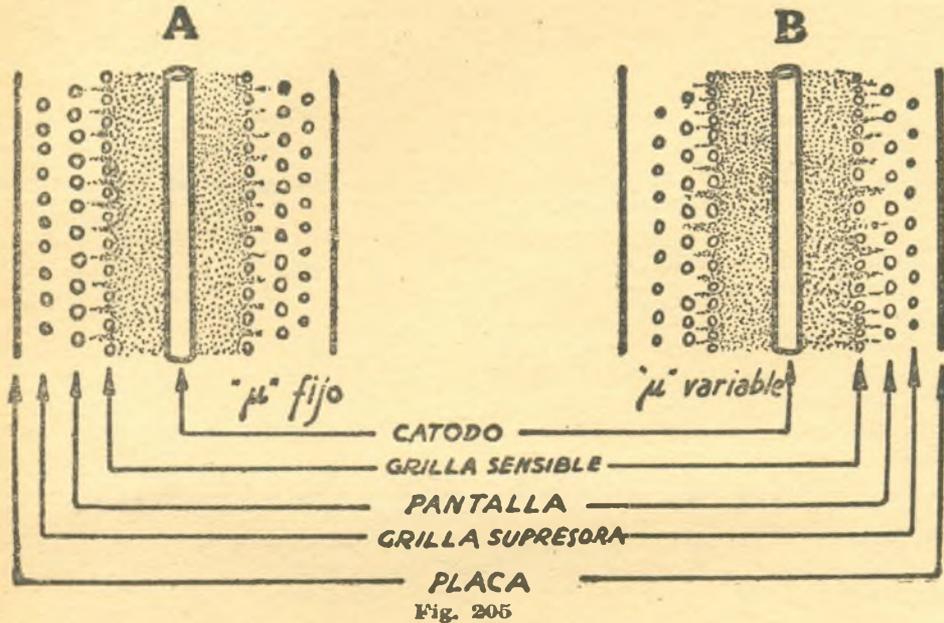


Fig. 205

Pero si a la grilla de la válvula de "mu" variable le aplicamos una tensión superior a la de polarización, veremos en seguida que se anula para el semiciclo negativo el flujo electrónico en los extremos de la grilla pero no en el centro, porque las espiras de la grilla están muy separadas y evitando de este modo que la válvula deje de trabajar (figura 206). Lo mis-

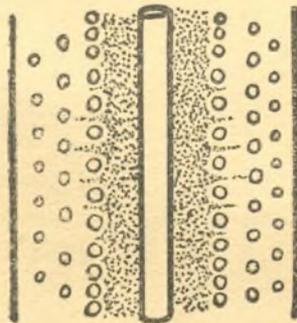


Fig. 206

mo sucedería si la grilla de la válvula, en lugar de quedar polarizada como acabamos de decir, por la misma señal, estuviese polarizada por una polarización fija resultaría que la válvula varía su factor de amplificación según la polarización aplicada a la grilla de la válvula.

¿Cómo varía el factor de amplificación? Pues si varía el punto de funcionamiento, resulta que varían los valores que intervienen en el funcionamiento de la válvula. Como recordarán los lectores, cuando estudiamos las características de grilla de las válvulas vimos que, según el punto que

se elija sobre la característica de grilla de la válvula se obtenía un valor para la resistencia interna de la válvula y factor de amplificación.

De lo dicho, podríamos sacar como conclusión que la válvula de μ variable trabaja como si fueran dos válvulas, una con un factor de amplificación elevado y otra de factor de amplificación bajo, según las condiciones de polarización.

VALVULA RECTIFICADORA DE CORRIENTE

Llámase válvula rectificadora de corriente a una válvula tal que conectada a una fente de energía de corriente alternada elimina la semionda negativa dando al circuito exterior una tensión pulsante de manera tal que, una vez filtrada por medio de un filtro adecuado, se pueda obtener una fuente de energía de corriente continua capaz de ser usada para alimentar los circuitos de placa de los receptores.

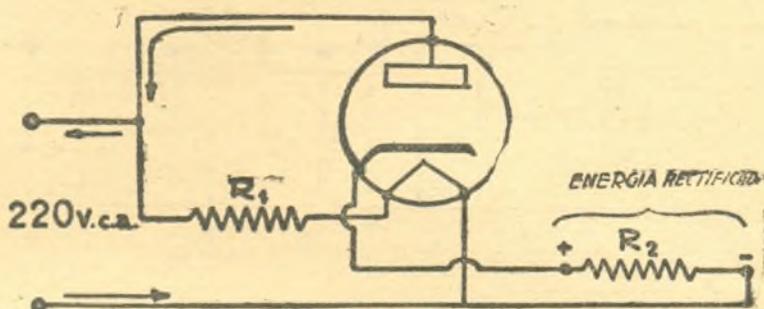


Fig. 207

Veamos la figura 207 y hagamos un repaso de lo que vimos cuando se estudió rectificación. Si seguimos la flecha de la figura veremos en seguida cómo trabaja una rectificadora de corriente.

Si suponemos que en un momento dado la placa de la válvula se encuentra a un potencial positivo, entonces atraerá los electrones libres del cátodo, que es calentado por un filamento conectado a la red de canalización a través de la resistencia R_1 calculada convenientemente. Si los electrones del cátodo se dirigen hacia la placa, éstos atravesarán la fuente de alimentación y volverán por el otro polo de la red de canalización y finalmente retornarán al cátodo después de atravesar la resistencia R_2 . Esta resistencia R_2 es en realidad la carga que absorbe la energía rectificada.

Cuando se trazan las características de las válvulas rectificadoras de corriente no se tiene en cuenta para nada las resistencias que no sean las del circuito que se va a alimentar, pues la resistencia de la fuente de energía es sumamente reducida. O, dicho en otras palabras, lo que sólo preocupa es la resistencia exterior del circuito o sea la carga R_2 .

Veamos un ejemplo práctico para que el lector pueda ver con más claridad lo que acabamos de explicar. Supongamos que el rectificador que estudiamos lo queremos emplear para alimentar el receptor de la lección anterior.

Supongamos que la válvula rectificadora que emplearemos es del tipo 12Z3 muy conocida en nuestro ambiente (figura 208). Si se aplica una tensión de corriente alternada a la placa de la válvula rectificadora ésta dejará pasar al circuito exterior una corriente determinada en cada semiciclo positivo, dando origen a que entre los extremos del condensador C_1 se produzca una tensión rectificada de una magnitud dada, el condensador C_1 se carga durante el semiciclo positivo descargándose éste durante el semiciclo negativo en el circuito exterior a través de la impedancia "CH" que se ha colocado especialmente para evitar que la corriente pulsante siga esa

forma. Debido a la self inducción de la impedancia la intensidad de la corriente pulsante dejará de serlo en gran parte; luego la corriente así "suavizada" en su forma, carga otro condensador que como la corriente ya no es de la misma forma que para los extremos entre "a" y "b", resulta que la carga del condensador sirve para igualar la tensión y que se hace presente entre los extremos del mismo. En estas condiciones resulta que entre los extremos A y B, o sea la salida del filtro de la rectificación, se obtiene una energía de corriente continua, pues han desaparecido completamente las variaciones de tensión que estaban presentes a la entrada del sistema rectificador.

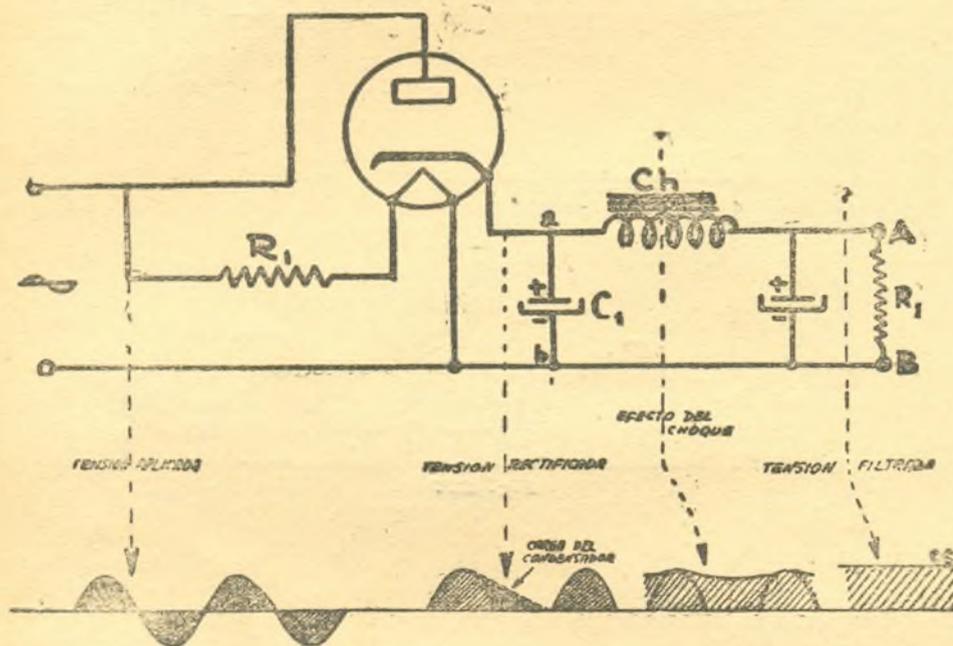


Fig. 208

En la figura 208 se indican además, seguidos por una línea punteada, la forma que adquiere la tensión una vez rectificada, después del primer condensador, después de la impedancia y por último, después del segundo condensador, para que el lector pueda ver con más claridad el proceso de la rectificación y filtraje.

44a. LECCION

Resistencias de circuitos recorridos por corrientes de alta frecuencia.

En la radiotécnica la resistencia se presenta en los circuitos de diversas maneras, según el tipo de corriente que atraviesa los conductores; así, por ejemplo, un circuito eléctrico está recorrido por una corriente continua, la intensidad de la corriente estaría dada por la ley de Ohm, sea cual fuese la forma del circuito. Si en cambio este mismo circuito estuviese recorrido por una corriente alternada, la resistencia del circuito ya no sería el único valor que interviene para oponerse a que la intensidad de la corriente circule, sino que intervienen ya otros factores, resultando entonces que no se puede hablar de un circuito puramente resistido, sino de un circuito de una impedancia determinada y en la cual la resistencia óhmica

sólo es un factor. En este caso la corriente que circularía por el circuito estaría dada por la ley de Ohm, pero para corrientes alternadas.

En los circuitos de Radio circulan además de la corriente continua, corrientes alternadas, pero de frecuencias muy elevadas (altas frecuencias) y cuyas impedancias no son muy fáciles de determinar. Podemos adelantar que un conductor recto completamente exento de capacidad e inductancia (prácticamente), su resistencia aparente aumentará de valor con el aumento de la frecuencia de la corriente que lo atraviesa.

Si practicáramos un corte transversal a un conductor por el cual circula corriente continua y si fuese posible observar el pasaje de la corriente, veríamos que el conductor es atravesado por una enorme cantidad de "filetes" eléctricos que ocupan completamente la masa del conductor (fig. 209 A).

Si el mismo conductor estuviera atravesado por una corriente alterna de baja frecuencia, veríamos que los filetes eléctricos no ocupan ya la masa del conductor, sino que tienden a alejarse del centro del mismo aunque de una manera casi imperceptible (figura 209 B). En ambos casos el lector notará que la resistencia del conductor es un poco distinta puesto que en el primer caso (c.c.) los filetes eléctricos llenaban la masa del conductor, mientras en el segundo, los filetes eléctricos se presentaban en menor cantidad (c.a.).

Si ahora suponemos que el mismo conductor que consideramos más arriba, estuviese atravesado por una intensidad de corriente de alta frecuencia, se observaría que los filetes eléctricos circulan solamente en la parte exterior del conductor, quedando por lo tanto la parte central del mismo completamente inutilizada (fig. 209 C).

Es por esta causa que en los transmisores de radio se emplean conductores huecos para las inductancias, con lo cual se consigue disminuir la ma-

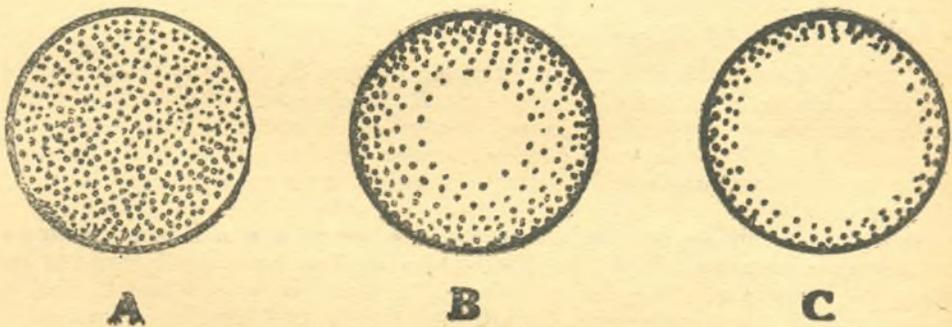


Fig. 209

sa del conductor, lo que significa la reducción de las pérdidas en él. Otra de las razones por la cual se emplea conductor hueco, consiste en aumentar la superficie útil, ya que si la corriente circula por él, cuanto mayor sea la superficie útil, menor será la resistencia que se le presentará al pasaje de la corriente de alta frecuencia.

En las inductancias de los receptores de radio no es posible emplear conductores huecos por el tamaño enormemente reducido de todas sus partes, para lo cual se ha construido un conductor especial llamado "Litzendhart", que tiene características sobresalientes para los usos en las inductancias empleadas en radio. Este tipo de conductor está compuesto por varios conductores delgados y aislados entre sí, con lo cual se consiguen las mismas ventajas que con el conductor hueco, ya que la superficie de éste depende del número de pequeños conductores de que está compuesto el alambre Litzendhart, que es enormemente mayor que el que le correspondería a un conductor único que ocupe el mismo espacio. Además presenta

las ventajas de que las pérdidas producidas por la masa del conductor sean también muy reducidas (pérdidas por corrientes de Foucault).

Antes de estudiar cómo se subsanan los inconvenientes que provoca el aumento de resistencia del conductor, veamos cómo se define el fenómeno que las produce.

EFECTO SKIN

Se llama **efecto skin** a la propiedad que tienen las corrientes de alta frecuencia de circular solamente por la superficie de los conductores. Por esta razón el aumento de la resistencia de los conductores atravesados por intensidades de corrientes de alta frecuencia, depende exclusivamente de la forma de la superficie del conductor.

Este fenómeno se debe a que la corriente de alta frecuencia induce en el conductor corrientes de Foucault que tienden a oponerse a que la corriente lo atraviese. Estas corrientes de Foucault son corrientes parásitas que se producen en el cuerpo del conductor formando circuitos circulares cerrados. Estos tipos de circuitos circulares se inducen en la masa del conductor. Por esta razón, una gran parte de la energía eléctrica e intensidades de corriente de alta frecuencia, depende exclusivamente de la forma de la superficie del conductor.

Para reducir en lo más posible las corrientes parásitas de Foucault, es que se ha recurrido al empleo de conductores huecos o del tipo Litzendhart que presentan una gran superficie y una masa muy pequeña.

En la práctica los conocimientos de la resistencia de los conductores recorridos por corrientes de alta frecuencia es de una importancia vital, como lo demostraremos en seguida.

Como ejemplo práctico, recordemos las curvas de resonancia de la lección 29a., en la cual indicaban cómo varía la eficiencia del circuito resonante a medida que disminuía la resistencia del circuito. Nosotros dijimos que se trataba de la resistencia óhmica, pero en realidad no es tal cosa puesto que por el conductor que constituye la inductancia es atravesado por corrientes de alta frecuencia y por lo tanto el valor R tiene un significado un poco más complejo pero más correcto. No hemos hecho la aclaración en ese momento para no complicar al lector las explicaciones de fenómenos en donde no interesa el valor que adquiere la resistencia, sino solamente cómo es la curva de resonancia para distintos valores de resistencia. Ahora estamos en condiciones muy buenas de interpretar los circuitos tal como trabajan en la práctica.

Existe una fórmula no muy conocida, pero no por eso deja de ser de suma utilidad y que permite calcular directamente la resistencia que asume un conductor de cobre cuando es recorrido por una corriente de alta frecuencia. Dicha fórmula es la siguiente:

$$R_s = 10 \times d \times a \times R \dots\dots\dots (63)$$

En la cual R_s es la resistencia del conductor cuando es recorrido por una corriente continua; d es el diámetro del conductor en centímetros; y a es una constante que depende de la frecuencia de la corriente.

Por medio de dicha fórmula, el lector se dará cuenta de lo sencillo que resulta calcular la resistencia del conductor que es recorrido por una corriente de alta frecuencia, pues sólo es necesario multiplicar por 10 la medida del diámetro del conductor; este resultado se multiplica por un factor cuyos valores daremos en la Tabla X, y, por último, el resultado obtenido se multiplica por la resistencia del conductor en corriente continua.

T A B L A X

Frecuencia	"a"
100 Khz.	3,387
200 "	4,790
300 "	5,866
600 "	8,296
800 "	9,579
1000 "	10,170
1500 "	13,120

Veamos un ejemplo práctico para que los lectores se familiaricen con este nuevo cálculo: Supongamos una inductancia empleada en los receptores de broadcasting de 200 μ h., y se desea saber qué resistencia adquirirá ésta cuando su circuito resuene a una frecuencia de 1000 Khz., siendo su resistencia medida con corriente continua de 3 Ohms, siendo el diámetro del conductor de la inductancia 0,03 cms. Apliquemos la fórmula 63:

$$R_s = 10 \times d \times a \times R = 10 \times 0,03 \times 10,17 \times 3 = 9,15 \Omega$$

Como lo indica claramente el ejemplo propuesto, la resistencia aparente del conductor que en corriente continua medía 3 Ohms, cuando es atravesado por una corriente de alta frecuencia de 1000 Khz., la resistencia que se opondrá a que la corriente fluya a través de él, es de 9,15 Ohms.

Como conclusión, sacamos un circuito resonante como los empleados en las frecuencias de broadcasting y que abarca un rango de frecuencias de 1500 Khz. a 550 Khz., tiene rendimientos distintos pues la inductancia es recorrida por intensidades de corrientes que tanto pueden ser 1500 como 550 Khz. e intermedias entre éstas; por esta razón es que tomamos una frecuencia intermedia para tener una idea de cómo se comportará el circuito resonante.

Esta fórmula 63 sirve con mucha aproximación para inductancias donde el conductor empleado es del tipo sólido, es decir, de un solo conductor.

Cuando el lector trate de diseñar una inductancia y ésta sea para trabajar en sistemas de amplificación en la cual se tiene especial interés en que la resistencia en alta frecuencia sea la menor posible, tendrá que hacer varios tanteos a fin de buscar el menor valor de resistencia dentro de los límites del espacio compuesto por las necesidades del receptor.

Este método práctico permite determinar la resistencia de alta frecuencia de un circuito resonante de una manera práctica, o sea gráficamente, pero empleando un método indirecto. Es sumamente fácil de aplicarse, como veremos en seguida.

Para aplicar este método se necesita conocer la forma de la curva de resonancia cuya resistencia queremos conocer; supongamos que dicha curva sea la dada en la figura 210, trazada en papel logarítmico por comodidad, el eje "a" "a₁" corresponde a la frecuencia de resonancia; si la amplitud de la curva de resonancia es la indicada en la figura resultará que "b" "b₁" será la altura de la amplitud mencionada. Si medimos la longitud a la cual hemos hecho referencia y tomamos una fracción de ésta a partir del rumbo "b". Esta fracción debe ser exactamente 0,707 de la amplitud "b" "b₁"; esta fracción está dada por el segmento "b₁" "b₂". Una vez hallado este punto se traza una paralela por el punto "b₂" al eje XX'. La paralela trazada cortará a la curva de resonancia en dos puntos "c" y "c₁". Por los puntos así determinados se trazan paralelas al eje "a" "a₁" y

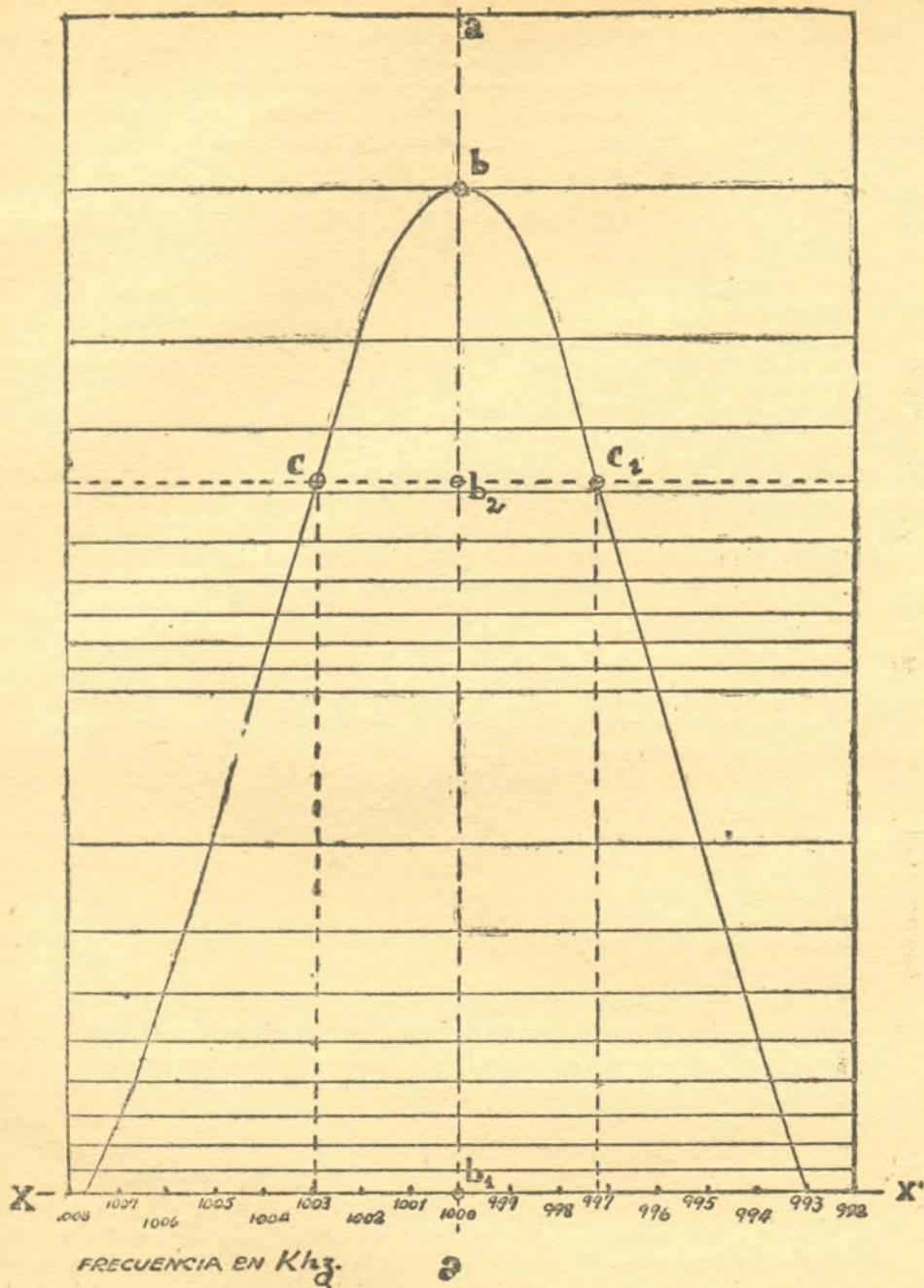


Fig. 210

que cortan al eje X X' en dos puntos diferentes, o sea uno en un punto que corresponde a 1002,9 Khz. (punto c) y otro en un punto correspondiente a 997,2 Khz. (punto c'). Si ahora aplicamos la fórmula en la cual da el valor de "Q" (*) de la bobina, o sea la calidad de la misma, podríamos emplearla de acuerdo a los valores hallados gráficamente; veamos, pues, esa fórmula y calculemos

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \dots\dots\dots (64)$$

(*) También recibe el nombre de coeficiente de amortiguamiento.

En la cual f_0 es la frecuencia de resonancia, f_2 es la frecuencia que corresponde al punto c , o sea la de mayor frecuencia, y f_1 es la frecuencia que le corresponde al punto c_1 , o sea la de frecuencia menor. Calculemos:

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{1000}{1002,9 - 997,2} = 175$$

Es decir, que el factor calidad de la inductancia que en paralelo con un condensador determinado nos produjo resonancia a una frecuencia de 1000 KHz., es: $Q = 175$. Para calcular ahora la resistencia que corresponde a la inductancia que nos dió un valor de calidad de 175, debemos aplicar la fórmula siguiente:

$$R = \frac{2 \times \pi \times f \times L}{Q} \dots\dots\dots (65)$$

Donde vemos que el numerador de la expresión es la reactancia inductiva de la inductancia dividido por el factor Q de la misma.

Por lo tanto, si la inductancia tiene un valor de 225 μh (0,000225), resultará si la frecuencia de resonancia es de 1000 KHz.:

$$R = \frac{2 \times \pi \times f \times L}{Q} = \frac{2 \times 3,14 \times 1.000.000 \times 0,000225}{175} = 8 \text{ } \Omega$$

Por lo cual los lectores podrán calcular los factores más importantes que intervienen en el cálculo de las inductancias usados en los circuitos resonantes de una manera muy sencilla y en la cual sólo se necesita conocer la forma de la curva de resonancia que corresponde a la inductancia cuya calidad queremos verificar.

Ya que conocemos la fórmula que nos da el valor de la resistencia de la inductancia en un circuito resonante de alta frecuencia en función del factor calidad de la inductancia, veamos cuál es el factor calidad una vez calculado por el método de la fórmula 65, el valor de la resistencia en alta frecuencia de una inductancia para un diseño determinado. La fórmula que cumple esta condición es la siguiente:

$$Q = \frac{X_L}{R} \dots\dots\dots (66)$$

Supongamos el caso de la inductancia que calculamos en el primer ejemplo de esta lección y que se trataba de una inductancia de 200 μh , y cuya resistencia cuando era atravesada por una corriente de alta frecuencia de 1000 KHz., era de 9,15 Ohms.

Pues si aplicamos la fórmula 66, podremos conocer con bastante aproximación el factor Q que le corresponde a dicha inductancia:

$$Q = \frac{2 \times \pi \times f \times L}{R} = \frac{2 \times 3,14 \times 1.000.000 \times 0,0002}{9,15} = 137,5 \text{ Aprox.}$$

Este valor calculado es sólo aproximado, pues es totalmente teórico; en cambio, el valor obtenido en base a la curva de resonancia es bastante exacto, puesto que se ha trazado dentro de las condiciones de trabajo de la inductancia. Pero por eso no dejaremos de emplear el método deductivo porque es muy ventajoso conocer el valor aproximado sin tener que hacer mediciones previas y cálculos después. En la práctica, los métodos empleados son los dos que hemos descripto.

La importancia que tiene en la práctica el conocimiento del factor de

calidad de una inductancia es inmensa, porque si tenemos interés de diseñar un receptor de radiotelefonía debemos saber cómo se comportan todas sus partes para conocer luego la ganancia final, en lo que a ampliación se refiere. Por lo pronto, no podemos decir que un receptor provisto de tres etapas de amplificación de alta frecuencia y cuyos circuitos resonantes tienen un factor Q igual a 150 tengan el mismo rendimiento de un receptor similar, pero de circuitos resonantes de factor Q igual a 100.

De ahí el lector puede darse una idea práctica de lo que significa calcular la inductancia para tratar de conseguir la más eficiente.

Si recordamos las curvas de resonancia de la lección 29a., el lector podrá inmediatamente elegir la inductancia que más le conviene para trabajar; está de más decir que elegirán la inductancia indicada con la "Curva I", y como se verá ahora más claramente que cuanto mejor "Q" tenga la inductancia, mayor amplificación se conseguirá con el circuito resonante puesto que la intensidad de la corriente de alta frecuencia de resonancia será tanto mayor cuanto menor sea la resistencia del circuito, pues como se recordará, se dijo que en un circuito resonante la impedancia era igual a la resistencia de la inductancia puesto que las dos reactancias, inductiva y capacitativa, se anulaban por ser de efectos contrarios y de la misma magnitud.

45a. LECCION

Instrumentos de Medición Universal

(Continuación)

En la Lección 37a. y 41a. vimos distintos tipos de instrumentos de medición y además algunos sistemas que permitían trabajar al instrumento en perfectas condiciones en la práctica. Veamos entonces cómo se diseña y se construye un instrumento de medición universal, y cuya aplicación sea de utilidad para los alumnos.

INSTRUMENTO UNIVERSAL USADO PARA INTENSIDADES DE CORRIENTE

Veamos qué instrumento se empleará para el diseño propuesto. En la lección anterior habíamos aconsejado un miliamperímetro de escala de cero a un miliampere, por razones de exactitud en las mediciones.

Las características más usuales para este tipo de instrumento son las siguientes: corriente máxima a toda escala un miliamper; resistencia interna 27 Ohms.

Para que el alumno pueda ver con mayor claridad el proyecto presentamos la figura 211 en la cual se muestra el instrumento a emplearse visto de frente a fin de que aparezca la escala en tamaño natural. Como podrá verse la escala está formada por cincuenta divisiones, es decir; 20 microamperes por división.

En estas condiciones el instrumento está listo para emplearse como miliamperímetro en circuitos donde la corriente de placa sea inferior a un miliamper.

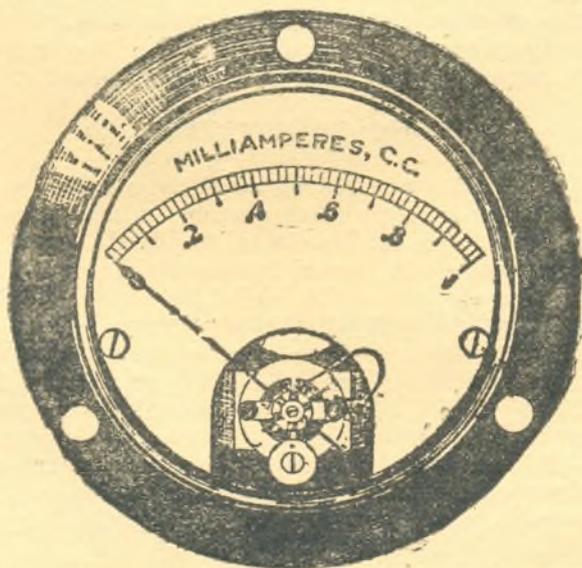


Fig. 211

Si volvemos a la Lección 37a., encontraremos en la pág. 28 la forma cómo se calculan los "shunts" para poder aumentar el rango de medición del miliamperímetro. Siendo la figura 174 la que indica de qué manera podemos construir el circuito correspondiente.

A fin de ser más explícitos, reproduciremos en la figura 212, la figura antes mencionada con los valores calculados en esa oportunidad. De esta

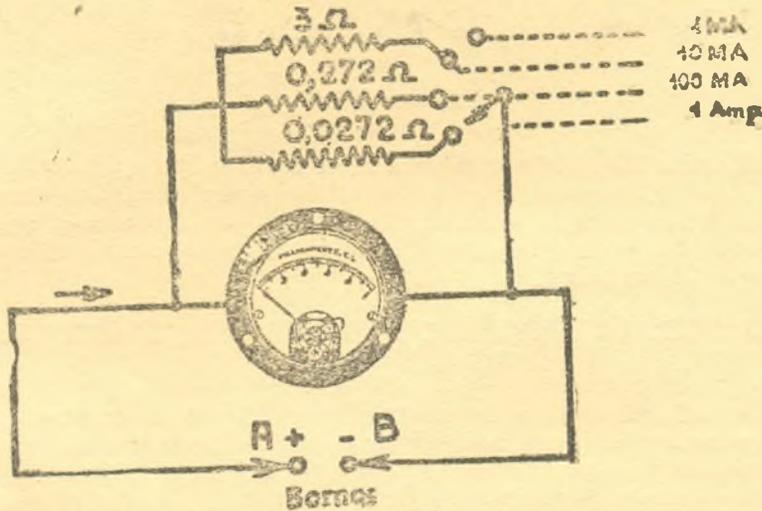


Fig. 212

manera tenemos conocidos los valores de los "shunts" para poder medir con el mismo instrumento de cero a un miliamper; de cero a diez miliamperes; de cero a 100 miliamperes y de cero a un Amper. Todo en corriente continua.

La escala de cero a un miliamper nos servirá para medir corrientes de placa de los detectores o corrientes de placa muy débiles de las válvulas amplificadoras. La escala de cero a diez miliamperes se empleará para medir corrientes de placa de las válvulas amplificadoras y de grillas auxiliares. La escala de cero a 100 M.A. se empleará para medir las corrientes de los circuitos de placa de las válvulas amplificadoras y también circuitos de filamento alimentados por corriente continua.

Cuando se emplee la escala de cero a 1 Ampere será para medir corrientes en circuitos de filamento y rectificadores de baja y alta tensión.

COMO VOLTIMETRO

La forma de calcular las resistencias adicionales se dió ya en la Lección 37a. Veamos los alcances que podemos obtener usando el miliamperímetro como voltímetro. Para poder emplear la misma escala, como en el caso anterior, usaremos una escala que nos dé lectura de cero a un Volt. Otra de cero a diez Volts; otra de cero a 100 Volts, de cero a mil Volts.

En la figura 213 se indica el circuito, de manera que calculemos las resistencias que se tendrán que emplear como resistencias adicionales.

Empecemos con la escala a un Volt: si conectamos la llave en la posición "a", resultará que la corriente atravesará el instrumento (resistencia interna) y luego la resistencia R_1 . Como queremos medir tensiones máximas de un Volt, para cuando haya pasado por el instrumento una intensidad máxima de corriente de un miliampere, resultará que el valor de la resistencia total recorrida por la corriente es, un Volt dividido por un miliam-

$$\text{pere o sea } R = \frac{E}{I} = \frac{1}{0,001} = 1.000 \Omega$$

De donde se ve que la resistencia del circuito para este caso tiene 1000 Ω pero como dicho circuito formado por dos resistencias, una la del instru-

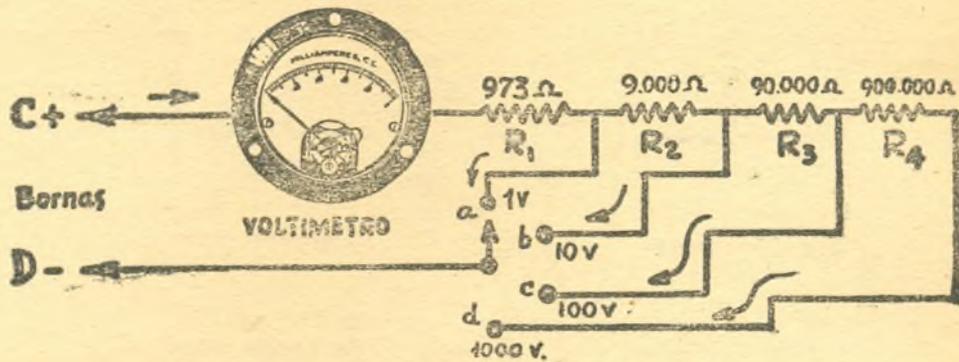


Fig. 213

mento (bobina móvil) y la resistencia R_1 ; resultará que si la resistencia del instrumento dijimos que era 27 Ω , resultará que $R_1 = R - R_a = 1000 - 27 = 973 \Omega$. Por lo tanto hemos calculado la resistencia adicional que corresponderá a la escala de cero a un Volt. Calculemos ahora el valor de la resistencia adicional que corresponderá al circuito del voltímetro para poder medir tensiones hasta 10 Volts máximos. Para esto conectaremos la llave en la posición "b"; entonces la intensidad de la corriente tendrá que atravesar las resistencias, R_a , R_1 y R_2 para luego volver al otro polo. Como la intensidad de la corriente máxima es de un miliampere resultará que el circuito del voltímetro para una tensión de 10 Volts tendrá que ser $R = \frac{10}{0,001} =$

10.000 Ω , pero como ya sabemos que el valor de resistencia que forman, la resistencia interior del instrumento y la resistencia R_1 es de 1000 Ω resultará que R_2 deberá ser de 9.000 Ω .

Si conectamos ahora la llave en el punto "c" podremos medir voltajes hasta de 100 Volts.

Esto último sería posible si se calculara convenientemente el valor de la resistencia R_3 ; haciendo el mismo razonamiento que en los casos anteriores, calcularemos un valor de $R = 100.000 \Omega$ para ese circuito, por lo tanto, si entre R_a , R_1 y R_2 suman 10.000 Ω la resistencia R_3 será de 90.000 Ω . De la misma manera calcularemos el circuito para cuando la llave se encuentre en la posición "d" en la cual podremos medir tensiones hasta 1.000 Volts. El valor de la resistencia R_4 será de 900.000 Ω . Se notará, además lo simple que resultan los cálculos.

De esta manera tenemos calculados los circuitos correspondientes al instrumento para mediciones de corriente continua tanto para tensiones como para intensidades de corrientes. Juntemos ahora los dos circuitos a fin de poder realizar el proyecto de manera tal que sea simple el manejo del mismo. Como la parte de mediciones de intensidades trabaja separadamente de la de tensiones, tendremos que buscar una manera de utilizar las mismas bornas de salida del instrumento para las mediciones.

La forma más simple sería el uso de una llave inversora y que en una posición conectara los cables, que se emplearían para los contactos del circuito a medir, a las bornas A y B (amperímetro) ó C y D (voltímetro) según puede verse en la figura 214. Este método, aunque es muy económico, no es muy seguro, pues se corre riesgo de quemar el instrumento si por un descuido estu-

viera conectado como miliamperímetro cuando se miden tensiones, pues quedaría aplicado sobre la bobina móvil una tensión superior a la que está destinado.

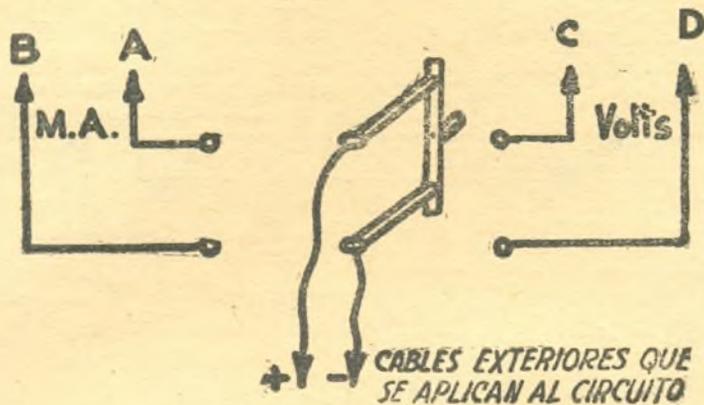


Fig. 214

En realidad ningún método es totalmente seguro pero se podría diseñar uno que ofreciera el máximo de seguridad. Además conviene de cualquier manera utilizar un fusible especial para este tipo de instrumentos.

Un método de menos riesgo sería el uso de una llave selectora de manera tal que en cada posición se pudiese conectar al instrumento en condiciones determinadas de trabajo y de una manera independiente. Por esta razón se ha estudiado el esquema de la figura 215, en la cual puede verse, que la sección para la medición de intensidades es independiente de la que mide tensiones.

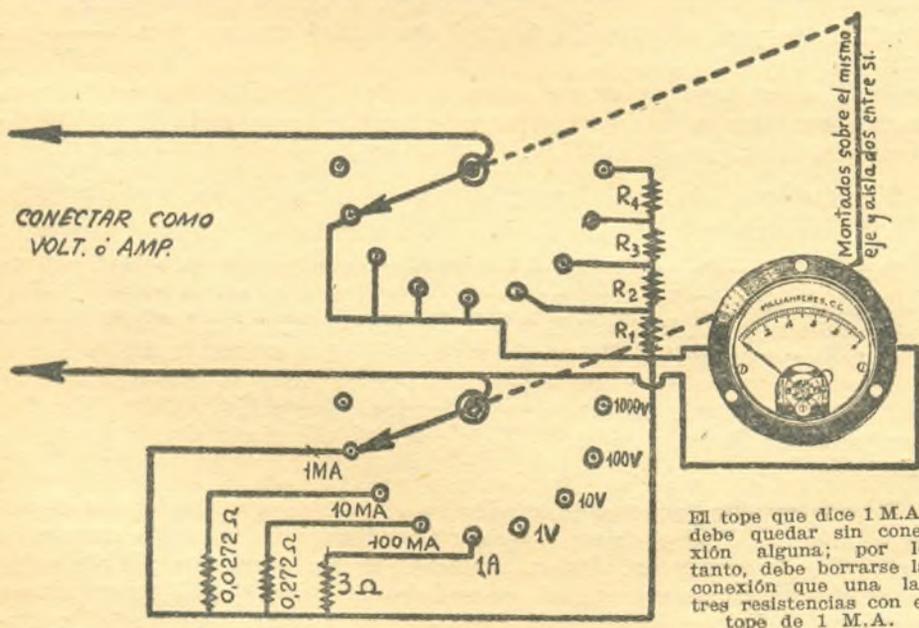


Fig. 215

Además la llave que se emplea es un selector de varios contactos en dos secciones aisladas de manera que permiten hacer conmutaciones con sólo girar en un punto la llave.

En dicha figura se indicaron especialmente los valores a fin de que el alumno pueda seguir los diferentes circuitos con facilidad.

COMO OHMETRO

Una de las aplicaciones más interesantes y de mayor difusión, es el empleo de un óhmetro en los trabajos de la radiotécnica. El que presentamos es de sencilla realización y luego que lo hayamos estudiado y calculado en sus diferentes partes agregaremos éstas al conjunto de la figura 215.

En la figura 216 se indica un circuito formado por una pila, un miliamperímetro y una resistencia, conectados todos en serie. En estas condiciones, por el circuito circulará una intensidad de corriente determinada que es acu-

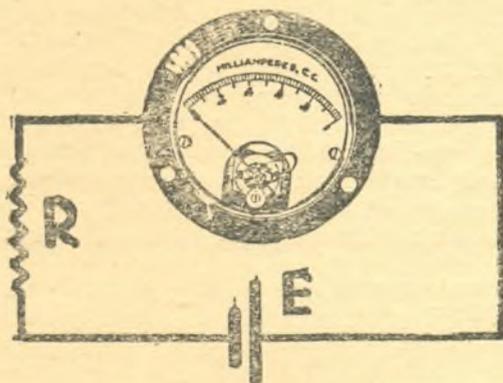


Fig. 216

sada por el miliamperímetro. Si conociéramos el valor de la f.e.m. de la pila nos sería muy fácil calcular el valor de la resistencia que se debe intercalar en el circuito. Veamos un ejemplo: supongamos una pila cuya f.e.m. sea de 1,5 V. y la intensidad de la corriente acusada por el miliamperímetro sea de 0,6 M. A. ¿Cuál sería el valor de la resistencia R? Si E es 1,5 V. é I es 0,0006 Amp. resultará que la resistencia es de 2500 Ω . Este valor calculado es precisamente el valor de la resistencia total del circuito de la figura 216. Pero el valor real de la resistencia R no es 2.500 Ω si no la diferencia entre este valor y la del instrumento de manera tal que si la resistencia del instrumento es de 27 Ω , R será igual a $2.500 - 27 = 2473 \Omega$. De la misma manera que si en el mismo circuito el miliamperímetro indicase un valor de intensidad de corriente de 0,4 M. A., el valor de la resistencia R sería lógicamente distinto y de un valor mayor que de 2473 Ω . Veamos entonces qué valor de resistencia correspondería en este caso.

Si dividimos 1,5 V. por 0,0004 A. resultará que la resistencia es de 3750 Ω y restados los 27 del instrumento, resultará que el valor de la resistencia es de 3723 Ω . Si ahora repitiéramos el mismo cálculo para las diferentes fracciones de la escala del instrumento, podríamos obtener todos los valores de resistencia que puede asumir la resistencia R y con una pila de 1,5 V.

Si en estas condiciones retiramos la resistencia R del circuito y conectamos una cualquiera en su lugar de valor desconocido, podríamos conocer su valor si la aguja del instrumento coincide con la lectura de uno de los valores calculados previamente.

Así, por ejemplo, si el miliamperímetro indica 0,4 M. A., sabremos que la resistencia que no conocíamos es de un valor de 3723 Ω , etc.

Si en la práctica empleamos este método, nos resultará sumamente fácil medir con bastante aproximación los valores de las resistencias a utilizar en los aparatos. Por lo tanto, veamos cómo podemos calibrar la escala del instrumento a fin de efectuar las lecturas de una manera directa.

Antes de estudiar el tipo de escala, veamos qué sucede si al circuito se le aplica una resistencia de un valor bajo, como por ejemplo: 300 Ω , ¿qué sucederá? Si la resistencia del circuito es: $300 + 27 = 327 \Omega$ y 1,5 Volt,

la tensión, resultará que I , es igual a 4,6 Amp. aproximadamente, por lo cual el instrumento corre riesgo de inutilizarse. Para evitar inconvenientes de esta índole se emplea un método que permite ajustar la corriente máxima del circuito de una manera sencilla. Veamos cómo: si en el circuito de la figura 216, en lugar de tener una resistencia fija, le conectamos una variable, como el circuito es cerrado, fácil nos será hallar un valor de resistencia que permita un pasaje de corriente igual a un miliampere, con sólo hacer girar la rama móvil del potenciómetro.

¿Cuál sería el valor de la resistencia cuando por el instrumento ha pasado una intensidad de un miliamper? Si la f.e.m. aplicada al circuito es de 1,5 V. y la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito es de 0,001 Amp., la resistencia es igual a 1.500Ω que, restados los 27Ω del instrumento, resultaría ser 1.473Ω .

Por el valor calculado puede verse que si conectamos de una manera permanente una resistencia fija de un valor aproximado al calculado, tendremos asegurados una intensidad de corriente por el circuito del óhmetro, de un miliamper, sin correr el riesgo de que quememos el instrumento. Como la tensión de la pila no se mantiene constante, conviene conectar en serie la resistencia fija a otra variable para poder ajustar exactamente la corriente del circuito.

De acuerdo con lo explicado, puede verse en la figura 217 el circuito y valores tal cómo se emplea en la práctica y listo para funcionar. ¿Cómo

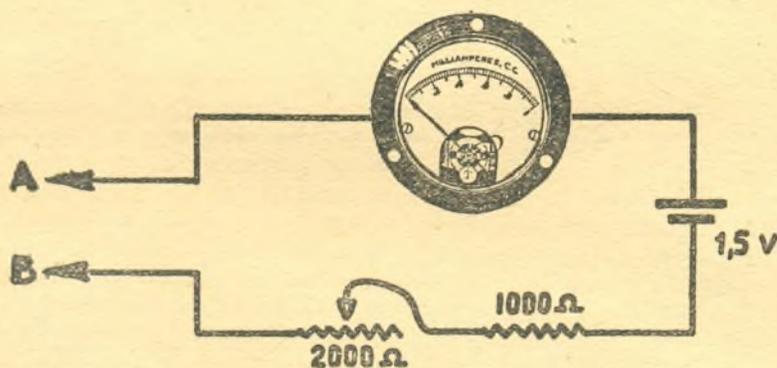


Fig. 217

se usa en la práctica este instrumento? De una manera sencilla: se cierra el circuito, juntando los extremos A y B para preparar el instrumento, luego se hace girar la resistencia variable hasta que el miliamperímetro acuse un pasaje de corriente de un miliamper. Entonces el instrumento está en condiciones de ser usado. Para eso se vuelve a interrumpir el circuito desconectando las conexiones hechas con A y B y se tocan con ellos los extremos de la resistencia que se desea medir. Por lo tanto, al cerrarse el circuito, el instrumento acusará el pasaje de una corriente determinada y que corresponde a un valor tal que es precisamente el valor de la resistencia que se está midiendo. No crean los lectores que la resistencia real del circuito habrá de considerarla para cada medición, pues por eso dijimos hace un momento que se indicará la manera de calibrar la escala directamente en Ohms. Aunque es fácil conseguir una escala para el instrumento ya calibrado, el estudiante deberá saber cómo han sido construidas previamente.

Supongamos entonces que queremos calibrar una escala de miliamperímetro en Ohms, empleando para ello el circuito de la figura 217.

Si cerramos el circuito, uniendo las puntas A y B, y ajustando la resistencia variable a un miliamper, tendremos que la resistencia a medir es igual a cero Ohms. Decimos cero, porque la resistencia a medir en este caso es cero

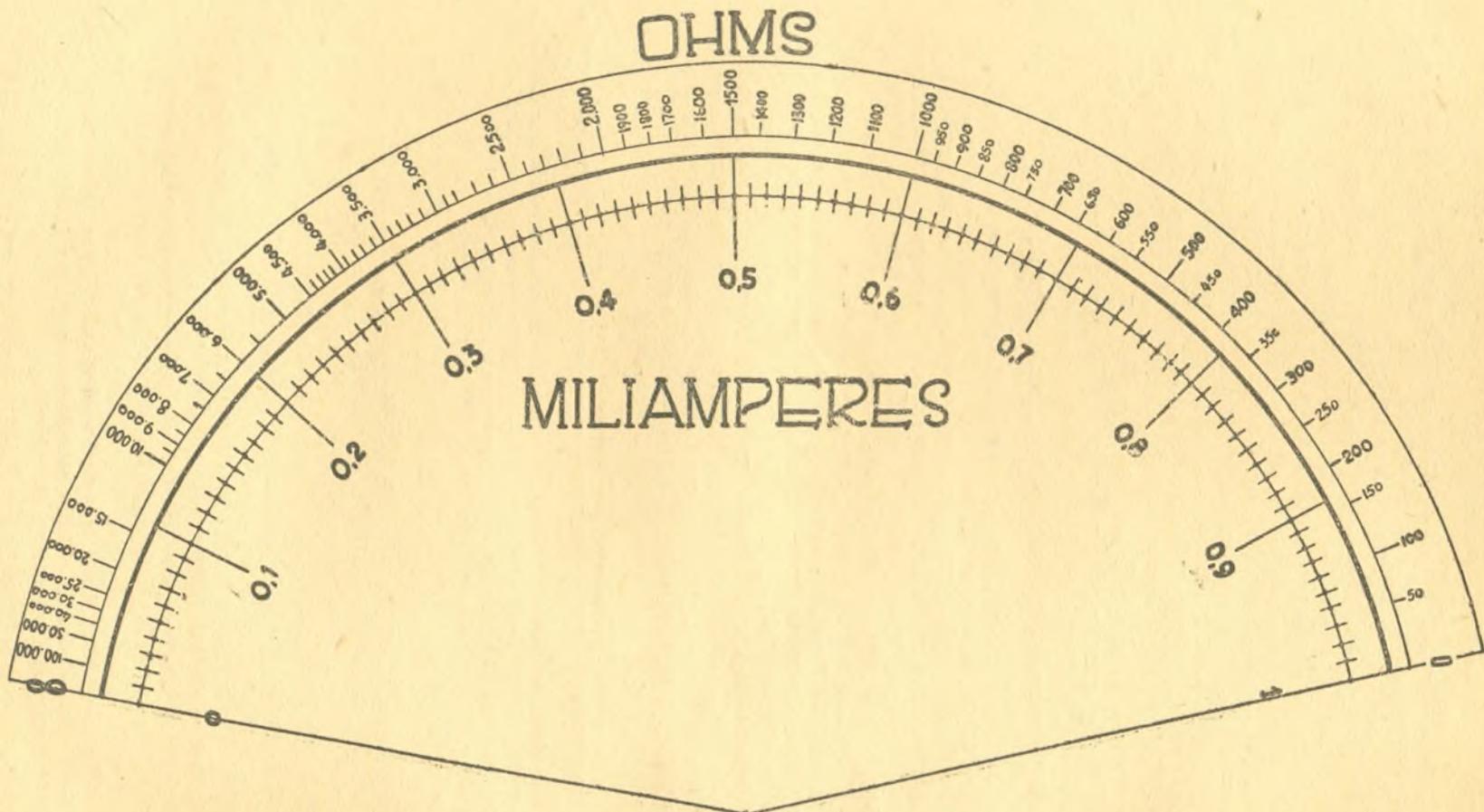


Fig. 218

pues entre los puntos A y B no existe resistencia pues hace perfecto contacto eléctrico.

Es decir que, cuando por el instrumento circula una corriente de un miliamper se considera que en el circuito exterior del OHMETRO la resistencia es cero. Por lo tanto marcaremos en nuestra escala CERO sobre el lugar que le corresponde a un miliamper. Supongamos ahora que queremos saber qué corriente atravesará el circuito si conectamos entre los extremos A y B una resistencia de 100Ω . Ya vimos que para que el instrumento sea atravesado por una corriente de un miliamper hemos conectado en el circuito una resistencia de 1.500Ω , por lo tanto si conectamos una resistencia adicional de 100Ω , el circuito tendrá una resistencia total de 1.600Ω por lo tanto la corriente será de $0,94$ M.A. aprox. si la f.e.m. de la pila es de $1,5$ V. de manera que marcaremos un nuevo punto en la escala. Es decir, que en el lugar de la intensidad de corriente correspondiente se marca 100Ω . De la misma manera se hace con el punto cuyo valor es de 200Ω y que corresponde a una corriente de $0,883$ M.A. aprox. Para 300Ω ; $0,834$ M.A., para 400Ω $0,79$ M.A.; para 500Ω , $0,75$ M.A.; para 600Ω , $0,714$ M.A., etc.

La escala que estamos estudiando está dada en la figura 218.

Como las necesidades de las mediciones de resistencias se elevan a cifras elevadas, es necesario poder medir resistencias de varios millones de Ohms con cierta exactitud; por lo tanto, busquemos una manera o, mejor dicho, un método que nos permita utilizar la misma escala calculada, claro está, que multiplicados, por ejemplo, por 100 o por 1000 , los valores de la escala. Esto nos permitiría medir con bastante exactitud resistencias hasta de 10 millones de Ohms. Lo mismo nos interesa poder medir resistencias de valores inferiores a 100 Ohms con bastante exactitud, porque de esta manera podremos medir resistencias óhmicas de inductancias, resistencias "shunt" para válvulas, choques de filtro, etc.

En la Lección 49a. indicaremos los métodos a seguir para las escalas adicionales a las que hemos hecho referencia, así como también la forma de medir corrientes alternadas. Además, se irá construyendo parte por parte del instrumento universal, y como estamos estudiando sus partes, iremos agregando éstas a la figura 215, que es el esquema inicial.

FUENTES DE ALIMENTACION (Continuación) *ven de pag. 289*

En la radiotécnica se acostumbra a llamar fuentes de alimentación a las fuentes de energía eléctrica que nos permiten alimentar los distintos circuitos de un equipo de radio. Desde que se empezaron a usar las válvulas de calentamiento indirecto, se generalizó también, por economía, las fuentes de alimentación directamente de la red de canalización de luz y fuerza motriz.

Como se trataba de alimentar con la misma fuente de energía eléctrica los potenciales para los circuitos de filamentos, placas y grillas, se recurrió a diferentes métodos según las necesidades del circuito y el tipo de corriente suministrado por la red de canalización (corriente continua o alternada).

Estudiemos, en primer lugar, una fuente de alimentación para "A", y "B", utilizando como fuente de energía de la red una tensión de 220 V. corriente alternada. Estudiemos cómo trabajan las distintas partes del circuito y cómo se aplican a un receptor de tipo standard.

La figura 219 muestra un circuito del tipo más empleado en los receptores alimentados por medio de la corriente alternada de la red de canalización.

Este circuito está formado por tres partes bien definidas, a saber: transformador de alimentación cuyo cálculo estudiaremos en la Lección 47a.; la válvula rectificadora y el filtro con su distribución.

El transformador está formado, como podrá apreciarse en la figura 219,

por un bobinado primario, el cual se conecta a la red de canalización, y tres secundarios, uno para alimentar las placas de la válvula rectificadora, otro

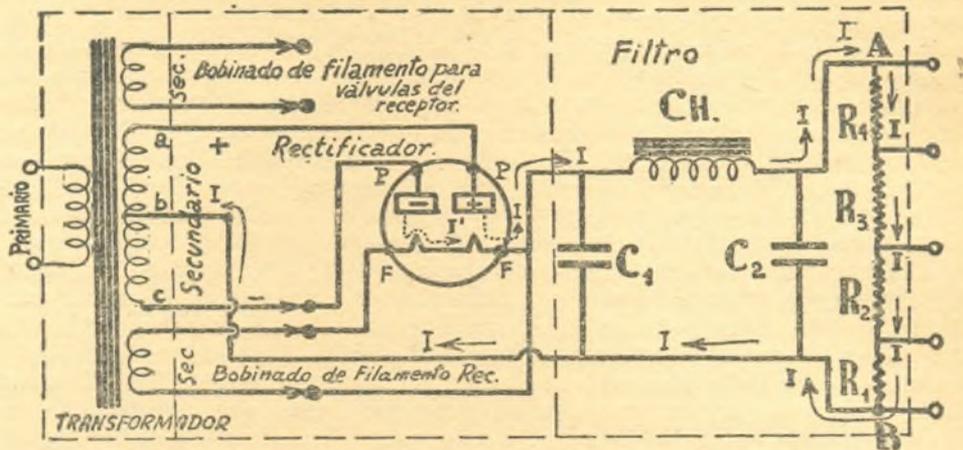


Fig. 219

para alimentar el filamento de la misma válvula y el tercero para alimentar los filamentos de las válvulas que se emplean en el receptor.

Veamos cómo funciona este rectificador: Dijimos que uno de los bobinados secundarios alimentaba el filamento de la válvula rectificadora y otro las placas de la misma válvula. Pues bien: ¿qué sucederá si una de las placas de la válvula rectificadora se encuentra a un potencial positivo? Pues si una de las ramas del bobinado se encuentra a un potencial positivo, el contrario se hallará a un potencial negativo; por lo tanto, la placa de la rectificadora que se halla conectada a este extremo del bobinado se encontrará también a un potencial negativo. Si la placa que se encuentra a un potencial positivo atrae electrones del filamento, que se encuentra a un potencial inferior al de la placa, se producirá una corriente a través del circuito del sistema rectificador y por lo tanto tratará de circular a través del filtro para volver nuevamente al bobinado secundario, pero por una derivación del mismo que previamente se había preparado. Es decir, pues, que se ha producido una corriente eléctrica que sigue el camino de la flecha I. Esta intensidad de la corriente dura el tiempo que la semionda positiva se encuentra en ese lado de la placa de la rectificadora. Como la otra placa está a un potencial negativo, no circulará ninguna corriente por el circuito de dicha placa. Pero en cuanto el sentido de la corriente cambia, la placa que se encontraba a un potencial positivo se hace negativo y la placa que estaba a un potencial negativo se encuentra ahora a un potencial positivo, de manera tal que por el circuito de la placa anterior no circula corriente mientras que por la que antes era negativa comienza a fluir la corriente tan pronto como se hace presente la semi-onda positiva.

La intensidad de la corriente partirá entonces de la placa que ahora es positiva, y después de seguir el camino de la flecha I', sigue el camino de la intensidad de la corriente anterior, volviendo nuevamente al punto medio del bobinado secundario. (Recordemos la teoría electrónica).

Si los lectores recuerdan lo que vimos en la Lección 43a., en la cual hablamos de una rectificación de una semionda, teníamos una sola placa en la válvula rectificadora, por lo tanto había corriente en el circuito del filtro cada vez que dicha placa se encontraba a un potencial positivo. En este caso tenemos dos válvulas rectificadoras en una misma ampolla. Si la derivación central del bobinado secundario, punto "b", fuese exactamente el punto medio del número total de espiras de dicho bobinado, tendríamos que entre los puntos "a" y "c" de éste existiría la misma

tensión que en la sección "b" y "c". Si usamos el punto "b" como retorno de la corriente rectificadora, resultará que cualquiera que sea el extremo del bobinado que se encuentre a un potencial positivo, producirá una tensión de un voltaje determinado entre los extremos A y B de la resistencia divisora de voltaje, de la misma magnitud. Esto se explica fácilmente si se tiene en cuenta que la derivación tomada en el bobinado secundario es utilizada como retorno de la corriente rectificadora de manera que la tensión aplicada a la placa de la válvula rectificadora es la que corresponde entre los puntos "a" y "b" ó entre "b" y "c". Repitamos el proceso de rectificación para que el alumno lo entienda más fácilmente. Si el extremo "a" del bobinado secundario se encuentra a un potencial positivo, la placa de la válvula rectificadora a que está conectado también se encontrará al mismo potencial, de manera que se producirá una corriente rectificadora que tratará de circular por el circuito, del choque, de las resistencias y finalmente volverá al transformador por el punto medio practicado en el bobinado secundario. Si la rama del transformador "a" es la que estaba a un potencial positivo, lógicamente el extremo contrario, o sea el "c", se encuentra a un potencial negativo; por lo tanto, el diodo cuya placa se encuentra a un potencial negativo no rectifica y es como si no estuviera en el circuito. Pero esto sucede solamente en una semi-onda de la energía entregada al bobinado secundario; por lo tanto, cuando se invierte el sentido de la corriente, el punto "c" se encontrará a un potencial positivo, mientras que el extremo "a" se encontrará a un potencial negativo.

Esta semi-onda producirá una intensidad de corriente de la misma magnitud de la anterior, y por lo tanto provocará la misma caída de tensión entre los extremos de las resistencias A y B del divisor de voltajes.

Si representamos gráficamente lo que acabamos de exponer, se verá con mayor claridad todavía, el proceso de rectificación, y que comúnmente se le llama RECTIFICACION DE ONDA COMPLETA.

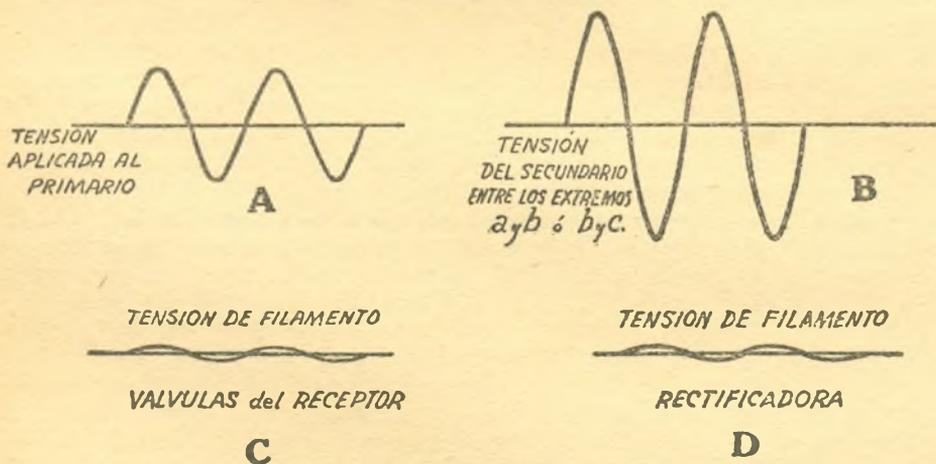


Fig. 220

Primeramente veamos el proceso que se efectúa en el transformador. En A de la figura 220, se puede apreciar la forma de onda de la tensión aplicada al primario del transformador y cuyas variaciones han provocado variaciones en la intensidad del campo magnético, por efecto de la intensidad de la corriente que circula por dicho bobinado. Como consecuencia de la variación del flujo magnético que produce el primario y reforzado por el núcleo de hierro del transformador, se inducen fuerzas electromotrices en los tres bobinados secundarios. En B puede verse la forma de onda de la tensión de la f.e.m. inducida en el bobinado que alimenta las placas de la válvula rectificadora. Los lectores notarán en dicha figura que la ampli-

tud de la onda en B es mayor que la de A, y esto se debe a que el número de espiras del bobinado secundario de referencia tiene un mayor número de espiras que el bobinado del primario. En C puede verse la forma de onda que le corresponde a un bobinado que se destinará a la alimentación de los circuitos de filamento del receptor. Se notará que la amplitud es muy pequeña comparada a la de A y B, y ésto se debe a que la tensión de filamento es muy reducida y por lo tanto el número de espiras de dicho bobinado es muy inferior al del primario; por lo tanto, se induce en el bobinado de filamento una tensión de menor magnitud.

Finalmente, en D se indica la forma de onda de la tensión de filamento de la válvula rectificadora, que, al igual de C, es de una tensión muy reducida.

En la figura 221 puede verse los distintos procesos de la rectificación y del filtraje. En A se indican las variaciones de tensión de cada rama del

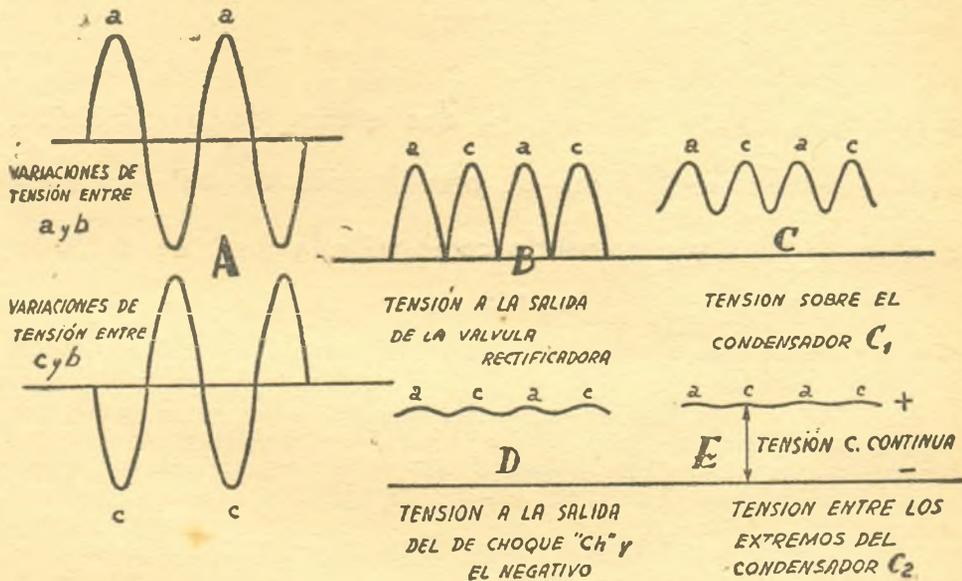


Fig. 221

bobinado secundario que alimenta las placas de la válvula rectificadora. En la parte superior las variaciones de tensión en la rama que corresponde entre los puntos a y b, en la parte inferior del mismo grabado corresponde a las variaciones de tensión de la rama entre los puntos c y b. Se ve inmediatamente que cuando el extremo "a" está conectado a un potencial positivo, el extremo "c" lo está a un potencial negativo y viceversa. Como consecuencia de la rectificación en las dos ramas, tenemos pasaje de corriente en cada semiciclo, por lo cual obtendremos una tensión a la salida del rectificador, como lo indica B de la figura 221. De esta manera se ve claramente que en un segundo de tiempo, si la corriente industrial es de 50 Htz., obtendremos 100 variaciones de tensión a la salida de la rectificación, que variarán entre un máximo positivo y cero, es decir, que estamos en presencia de una tensión pulsante de 100 pulsaciones por segundo. En la Lección 43a. vimos que las variaciones de tensión a la salida de la rectificación del rectificador de una semi-onda correspondía a 50 pulsaciones por segundo.

En C de la figura 221 se ve, como consecuencia de la carga y descarga del condensador C_1 , la tensión pulsante de B adquiere la forma de la figura.

En D vemos la forma que asumen las variaciones de tensión cuando la intensidad de la corriente rectificadora ha atravesado una inductancia con

núcleo de hierro. Evidentemente, ya ha perdido casi completamente los impulsos primitivos, y finalmente vemos en E de la figura 221 los efectos suavizadores producidos por el condensador C_2 (figura 219) y conectado a la salida del choque. De esta manera el filtraje es casi perfecto, haciendo que la energía rectificada y filtrada sea prácticamente igual a la corriente continua suministrada por cualquier batería. Por lo tanto, la divisora de tensión conectada a la salida del filtro está en condiciones, si las resistencias están correctamente calculadas, de alimentar los diferentes circuitos de placas, pantallas y potenciales negativos de los receptores y transmisores, etc.

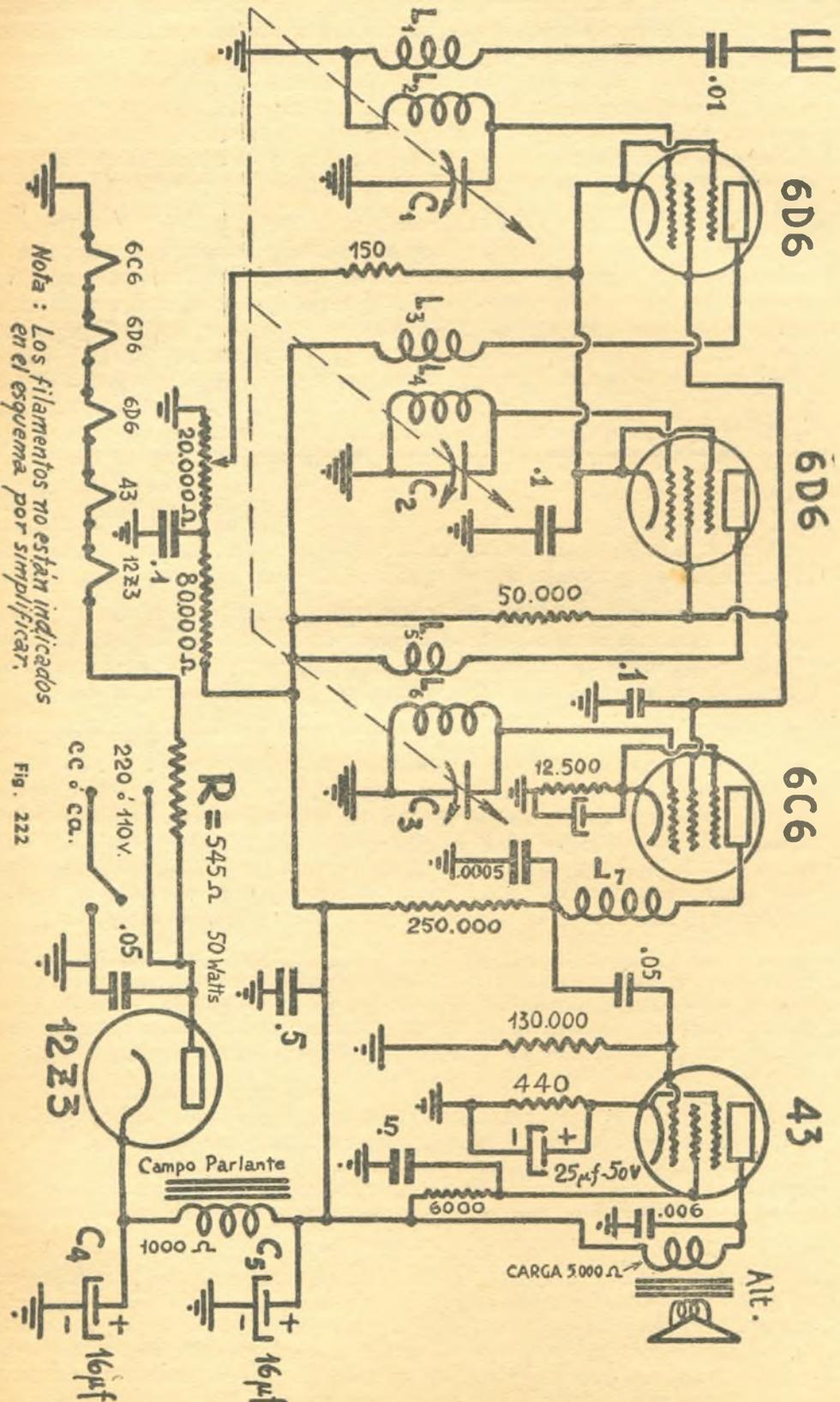
46a. LECCION

Receptor de ambas corrientes y dos etapas de amplificación de alta frecuencia.- Sistema de amplificación de baja frecuencia a resistencias y empleando como válvula final un pentodo especial y altoparlante electrodinámico.

En la Lección 42a, habíamos visto la forma de diseñar un receptor cuya primera válvula era una amplificadora de alta frecuencia aperiódica; en este proyecto emplearemos un circuito donde las dos etapas de amplificación de alta frecuencia sean sintonizadas a fin de aproximarnos cada vez más a un receptor "tipo".

Lo más interesante de este proyecto es, sin lugar a dudas, el sistema de alimentación de los distintos circuitos del receptor. Vamos a describir someramente cada etapa del receptor a fin de realizar un pequeño repaso de nuestros conocimientos. El circuito de la antena lo constituye la conexión que une la antena con el choque L_1 de 3 milihenrys por un extremo y por el otro extremo del choque a chassis del receptor. Este circuito induce las señales captadas por la antena a una inductancia L_2 que forma circuito resonante con una sección de un triple tándem (tres condensadores montados sobre el mismo eje) C_1 . Cuando el circuito sintonizado descrito entra en resonancia con la señal de la antena, ésta queda aplicada al circuito de la grilla de la válvula V_1 ; esta válvula, que es un pentodo del tipo supercontrol, amplifica dichas señales, quedando las señales amplificadas impresas sobre el circuito de placa de la misma válvula. El circuito de la válvula lo forma la placa de la válvula y la inductancia L_3 conectada como carga de placa de la válvula. La tensión amplificada de alta frecuencia produce por medio de la inductancia L_3 un campo magnético variable tal que induce una f.e.m. a la inductancia L_4 . Esta inductancia está conectada en paralelo con otra sección del condensador triple tándem.

Entre L_4 y C_2 forman un circuito sintonizado exactamente igual al de la etapa anterior de manera que tendrá que entrar en resonancia a la misma frecuencia de $L_2 C_1$ para una misma posición de la capacidad del condensador. De esta manera tenemos que la señal amplificada por la válvula V_1 queda aplicada a la grilla de la válvula V_2 y del mismo tipo que V_1 , que también trabaja como amplificadora de alta frecuencia. Esta válvula am-



Nota : Los filamentos no están indicados en el esquema por simplificar.

Fig. 222

plifica las señales por segunda vez y su tensión sobre el circuito de placa produce un campo magnético variable de alta frecuencia similar al producido por I_3 . La carga de placa L_5 de la válvula V_2 es del mismo tipo que L_3 que es de un valor aproximado a 2 milihenrys. El campo magnético variable de L_5 genera una tensión en L que forma parte de un circuito sintonizado igual a los anteriores aprovechando la tercera sección de condensador triple tándem C_3 .

La tensión amplificada por V_2 queda aplicada al circuito de grilla de V_3 , que es una válvula detectora. Oportunamente estudiaremos su funcionamiento. El cátodo de la misma no está conectado al negativo de la tensión de placa, sino que está a un determinado potencial positivo respecto a la grilla. Esta válvula trabaja en la parte curva de la característica de grilla en su parte inferior.

Más adelante calcularemos el valor de la resistencia de cátodo correspondiente de acuerdo a la característica de dicha válvula para trabajar como detectora "polarizada". La válvula que emplearemos para esta función será una de factor de amplificación fijo, pero también del tipo pentodo (válvula tipo 6C6).

Las señales detectadas por la válvula detectora V_3 son amplificadas por una sola etapa de amplificación de baja frecuencia empleando como acoplamiento entre estas válvulas, es decir, entre V_3 y V_4 , el tipo resistencia-condensador-resistencia. La válvula V_4 es una del tipo pentodo especial para entregar una gran energía de baja frecuencia al altoparlante. El altoparlante que conectaremos a la salida, o sea sobre el circuito de la placa de dicha válvula es la del tipo electrodinámico, cuyo funcionamiento estudiamos ya en la Lección 33a.

Como veremos en seguida, el campo magnético permanente lo produce la misma intensidad de la corriente de los circuitos de placa del receptor. Esto se consigue de una manera sencilla, porque se lo emplea como si fuera una inductancia del sistema de filtro de la sección rectificadora.

La sección rectificadora está formada por la válvula V_5 , muy conocida en nuestro ambiente radiotelefónico, y que es un diodo especial para estos trabajos y de calentamiento indirecto. Es conocida con la característica de 12Z3.

Como puede apreciarse en la figura 222, uno de los polos de la línea de canalización se conecta directamente sobre la placa de la válvula V_5 . Cada vez que la semi-onda positiva se hace presente sobre la placa de la válvula, por el circuito de cátodo de la misma, se produce una corriente rectificadora y que filtrada por medio del filtro, formado por los condensadores C_4 , C_5 y la inductancia (campo del altoparlante), se obtiene corriente continua apta para alimentar los circuitos de placa de las válvulas. El otro polo de la fuente de energía de la red de canalización, se conecta al chasis, pues éste actúa como retorno de todos los circuitos.

Empecemos por los circuitos de cátodo de las válvulas. Las dos válvulas 6D6 serán controladas por medio de potenciales de cátodo y de una manera similar a la empleada en la Lección 42a., utilizando para ello los mismos valores calculados en esa ocasión. Recordemos, de paso, que la resistencia variable de 20.000 Ω actuará en este receptor como control de volumen. Su funcionamiento es fácil de comprender, pues para ello basta recordar que aumentamos el potencial negativo de las válvulas amplificadoras de alta frecuencia a un punto tal que la corriente de placa de las mismas sea prácticamente cero, éstas dejarán de funcionar. De esta manera se consigue de una

manera sencilla controlar el volumen, actuando sobre la sensibilidad de las válvulas.

Veamos ahora qué valor de cátodo usaremos para la válvula detectora esto es, la válvula 6C6. En la figura 223 se muestran las características de la válvula 6C6 a fin de ubicar como primera medida el punto de funcionamiento de la válvula como detectora, para luego conocer cuál será la polarización que tendremos que aplicar a la grilla de dicha válvula para obtener de ésta detección.

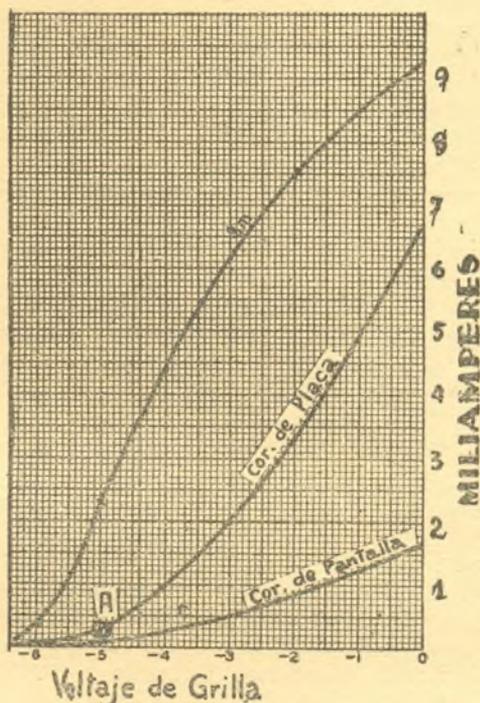


Fig. 223

Hemos dicho que un punto de funcionamiento ideal de una válvula, para trabajar como detectora, es el codo inferior de la característica de grilla de la válvula. Pues entonces, si observamos la curva que da las variaciones de la corriente de placa para dichos potenciales de grilla, encontraremos un punto "A" que corresponde a una corriente de placa de 0,3 M.A. y una corriente de pantalla de 0,1 M.A., para una tensión negativa de polarización de -5 V.

Estas curvas fueron trazadas para una tensión de placa y pantalla un poco superiores a las del receptor proyectado, pero no varían en mucho los valores fijados en la curva. Por esta razón adoptaremos estos valores para nuestro proyecto.

Si la tensión negativa de la válvula detectora es de -5 Volt y la corriente de cátodo es de $0,3 + 0,1 = 0,4$ M.A., la resistencia de cátodo de-

berá ser: $R_c = \frac{5}{0,0004} = 12.500 \Omega$, valor perfectamente usual en la prác-

tica. Por lo tanto, fijemos en el esquema de la figura 222 el valor calculado.

El valor de la resistencia de cátodo de la válvula 43 es fácil de calcular si seguimos las características que se dan en el cuadro que sigue:

Características de la válvula 43

Tensión de filamento			25	Volts
Corriente de filamento			0,3	Amperes
Tensión de placa	95	135	180	Volts
Tensión de pantalla	95	135	135	Volts
Tensión de grilla	-15	-20	-20	Volts
Corriente de placa	20	37	38	M. A.
Corriente de pantalla	4	8	7,5	M. A.
Resistencia de placa	45000	35000	40000	Ohms
Coefficiente de amplificación	90	85	100	
Transconductancia	2000	2450	2500	Micromhos
Resistencia de carga	4500	4000	5000	Ohms
Resistencia de auto polarización	225	440	440	Ohms
Potencia de salida	0,9	2	2,75	Watts
Base				seis contactos

Si queremos comprobar el valor de la resistencia de cátodo que dan las características de la válvula, podríamos hacerlo fijando los voltajes con que la válvula trabajará. En la práctica, la tensión de placa será aproximadamente a 180 V., para lo cual la tensión de pantalla deberá ser de 135 V. De esta manera se tendrá una corriente de placa de 38 M.A. y una corriente de pantalla de 7,5 M.A., que, sumadas, dan la corriente que circula por el cátodo. Por lo tanto, si la tensión de polarización de la válvula es de -20 V.,

$$\text{resultará que la resistencia de cátodo será: } R_c = \frac{20}{0,0455} = 440 \text{ Ohms.}$$

Que es precisamente la indicada en la tabla. Fijemos este valor en el circuito.

Veamos cómo alimentaremos los circuitos de pantalla de las válvulas. Si se observa el esquema de la figura 222, se verá que hemos conectado en un mismo circuito las pantallas de las dos válvulas amplificadoras de alta frecuencia y también la válvula detectora. Como las pantallas de las válvulas 6D6 necesitan 75 V., cuando tienen aplicado a la placa un potencial de 180 V. y como son dos las válvulas que trabajan en las mismas condiciones, resultará que pueden (las pantallas) trabajar en el mismo circuito. La válvula 6C6 necesita 100 Volts en la pantalla según las características de la válvula, pero puede trabajar con 75 V. sin que la válvula deje de trabajar correctamente. Por lo tanto, podemos conectarlas junto con las pantallas de las válvulas 6D6. Como la tensión que alimenta los circuitos de placa es de 180 Volts, tendremos que producir una caída de tensión de 105 V. para poder alimentar los circuitos de las pantallas. Para provocar una caída de 105 V. tendremos que conocer las corrientes de las tres válvulas. En la Lección 42a. vimos que la corriente de pantalla de la válvula 6D6 es de 1 M. A. cuando la tensión de pantalla es de 75 V. y 180 V. y la tensión de placa, es decir, que entre las dos válvulas amplificadoras tendremos 2 M.A. que, sumados a la corriente de pantalla de la 6C6, que es prácticamente despreciable, pues según la figura 223, la corriente de pantalla a 75 deberá ser un poco inferior a 0,1 M.A. puesto que dichas curvas fueron trazadas con 100 V. aplicados a dicho electrodo.

Prácticamente, la corriente total de pantalla es de 3 M.A. Por lo tanto, la resistencia capaz de provocar una caída de voltaje de 105 V. sería igual a:

$$R_{g.a.} = \frac{105}{0,002} = 52.500 \Omega; \text{ prácticamente se podría emplear } 50.000 \Omega.$$

Esta manera de alimentar los circuitos de pantalla no es de lo más correcta,

porque cuando la grilla se encuentra polarizada por una tensión negativa muy elevada, resultará que la corriente de las pantallas disminuirá, y por lo tanto la caída de tensión que se producirá entre los extremos de la resistencia calculada, sería menor a la prevista, dando origen a que el potencial de las pantallas resulte superior al indicado en las curvas características. Pero, a pesar de lo dicho, podemos emplear con buen resultado el método de la figura 222, porque la variación de la corriente de las pantallas no es de mucha magnitud, de manera que la diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia será aproximadamente un poco inferior a 105 V. Aclarado este detalle, fijemos en el circuito el valor calculado.

Calculemos ahora el circuito de la grilla auxiliar de la válvula 43. La característica de la válvula indica que cuando la tensión de placa es de 180 V. la tensión de grilla auxiliar debe ser de 135 V. Como en estas condiciones la corriente de pantalla es de 7,5 M.A., resultará que la resistencia que tendremos que conectar en serie con dicha pantalla para producir una caída de tensión de 45 V. puesto que la tensión a la salida del filtro del rectificador es de 180 V. Si la caída de tensión que provoca la resistencia que vamos a calcular fuera de 45 V. y la corriente de la pantalla de 7,5 M. A., la resistencia

$$\text{será: } R_{g.a.} = \frac{45}{0,0075} = 6000 \Omega. \text{ Llevemos este valor al circuito correspondiente.}$$

pendiente.

Los circuitos de placa de las válvulas amplificadoras de alta frecuencia van conectados a inductancias de 2 milihenrys que actúan como carga de placa. Dejamos al alumno el estudio de éstas de acuerdo a la Lección 40a. y comprobación de que dicha inductancia de carga de placa de la válvula sea correcta.

Por razones de buen funcionamiento aconsejamos conectar en el circuito de placa de la válvula 6C6 una resistencia de 500.000 Ω . Más tarde veremos cómo se halla el valor óptimo de carga de placa de una válvula detectora del tipo empleado en este proyecto. Como carga de placa de la válvula amplificadora de baja frecuencia emplearemos el valor aconsejado por las características de la válvula que indica un valor de 5.000 Ω . De manera que, como el altoparlante electrodinámico tal como se lo adquiere en el comercio, viene muniendo de su transformador de acoplamiento, tendremos que solicitar un altoparlante cuyo transformador de salida tenga en el primario una impedancia de 5000 Ω .

El acoplamiento entre la placa de la detectora y la grilla de la válvula amplificadora de baja frecuencia se hará de la manera y valores ya calculados en lecciones anteriores.

Veamos ahora cómo calcularemos la resistencia de filamento, para poder conectarlos directamente a la red de canalización. Si conectamos los filamentos en serie, pues todas las válvulas son de un tipo tal que permiten un pasaje de corriente de 0,3 Amp. para su perfecto funcionamiento, éstos provocarán una caída de:

6D6	6D6	6C6	43	12Z3
6,3 V.	6,3 V.	6,3 V.	25 V.	12,6 V.
0,3 A.				

Si sumamos las caídas de tensión que cada válvula produciría conectadas en serie, resultará que en conjunto producen una caída de 56,5 V. De esta manera la caída de tensión que debe provocar la resistencia conectada en serie con el circuito de filamento debe ser de 163,5 V., y como la intensidad de la corriente en el circuito de filamentos es de 0,3A., resultará que la re-

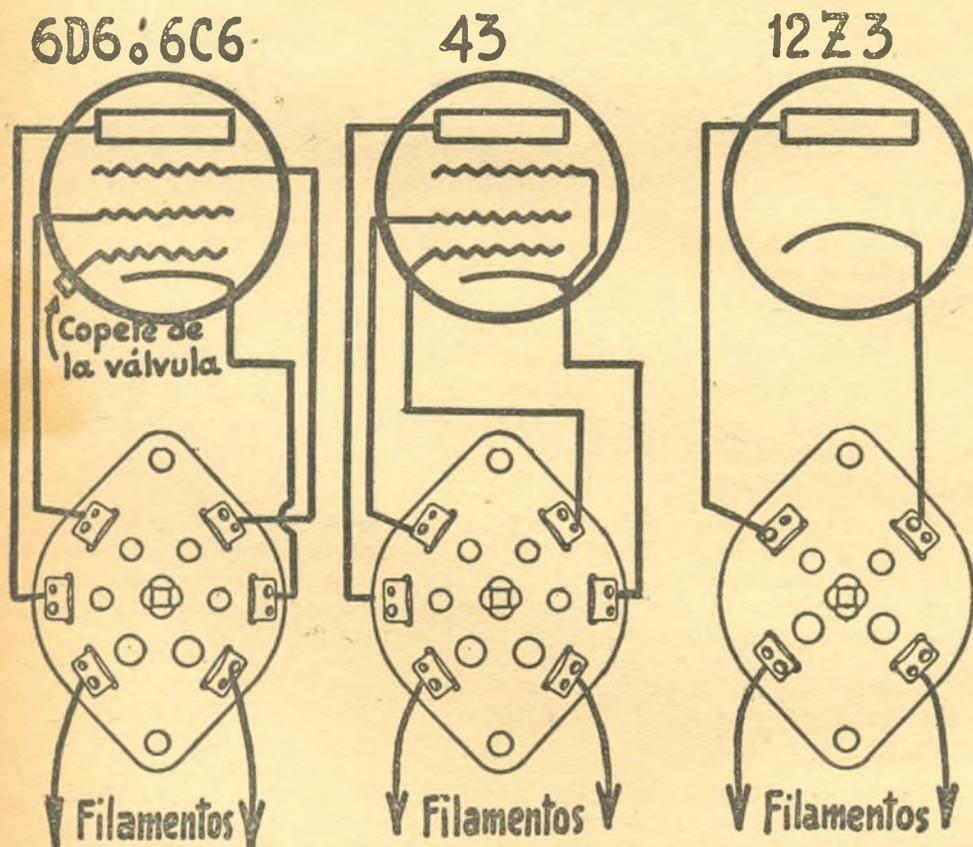
$$\text{sistencia es igual a: } R = \frac{163,5}{0,3} = 545 \Omega. \text{ Como esta resistencia se ca.}$$

lenta, convendrá saber qué energía se disipará en calor a fin de adquirir la resistencia que permita la disipación requerida del calor. Como W_j es igual a $I^2 \times R$, tendremos que $0,3 \times 0,3 \times 545 = 49$ Watts aprox., o sea prácticamente 50 Watts.

Si este receptor trabajara en una red de canalización de 110 V., se harán esos cálculos teniendo en cuenta la tensión de 110 V. De la misma manera habrá que modificar los valores de cátodo de las válvulas y de grilla auxiliares, consultando las características de las válvulas y siguiendo el mismo método empleado para el receptor que estamos proyectando.

Para las conexiones de los filamentos conviene seguir el esquema de la figura 222 a fin de evitar inconvenientes en el funcionamiento del receptor.

Este receptor trabaja correctamente en ambas corrientes, pues como vimos, la válvula rectificadora se encarga, en caso de trabajar en corriente alternada, de rectificar la corriente que alimentará los circuitos de placa. Pero cuando este receptor trabaja en corriente continua, la válvula rectificadora ya no tiene que rectificar, porque la placa de la válvula será positiva siempre, mientras esté el receptor conectado a la red de canalización. Como la placa de la válvula rectificadora está a un potencial positivo respecto al cátodo, se producirá una corriente en el circuito de la válvula, permitiendo así que los circuitos de placa queden alimentados de una manera similar que en el caso de rectificación. En este caso la válvula rectificadora solamente trabaja como una resistencia en serie con el circuito de alimentación de placa. Por esta razón, hay que tener en cuenta que si se conecta la placa de la vál-



ZOCALOS VISTOS DESDE ABRJO

Fig. 224

vula del lado del polo negativo de la red de canalización, no habrá corriente en el circuito de placa y el receptor no funcionará, por lo cual habrá que invertir la polaridad en el enchufe del receptor. Esto sucede porque si la placa de la rectificadora se encuentra a un potencial negativo respecto al cátodo, por la válvula no pasará corriente debido al rechazo de los electrones libres de la placa hacia el cátodo.

El campo del altoparlante, repetimos, lo empleamos como inductancia de filtro, por cuya razón debe llenar ciertas características, como ser: resistencia óhmica determinada y wataje de disipación también determinado.

Como la resistencia óhmica empleada en estos tipos de campos de altoparlantes es de unos 1000 Ω , resultará que hay que tener en cuenta que por él, pasará toda la corriente de los circuitos de placa; por lo tanto, vamos a ver qué disipación en Watts deberá efectuar. Cada válvula 6D6 necesita una corriente de 4 M.A.; como son dos válvulas, harían 8 M.A.; cada pantalla de estas válvulas necesita 1 M.A.; entre las dos toman 2 M.A., que, sumadas a las 8 M.A. de placa, dan 10 M.A.

La válvula detectora entre la placa y la pantalla no llega a permitir el paso de una corriente de 0,5 M.A. Tomemos este valor como real para el cálculo.

La válvula 43 "toma" entre la placa y la pantalla 45,5 M.A.

De esta manera, la corriente total será de $10 + 0,5 + 45,5 = 56$ M.A. y que, sumados unos 2M .A. que se emplean para producir la caída de tensión para polarizar las válvulas 6D6, serían 58 M.A., que redondeados con fines prácticos y que sería la tolerancia, podríamos considerar una corriente total a través del bobinado del campo del altoparlante de 60 M.A. Por lo tanto, $W_j = 0,06 \times 0,06 \times 1000 = 3,6$ Watts.

Por lo tanto, el campo del altoparlante deberá disipar en calor 3,6 Watts

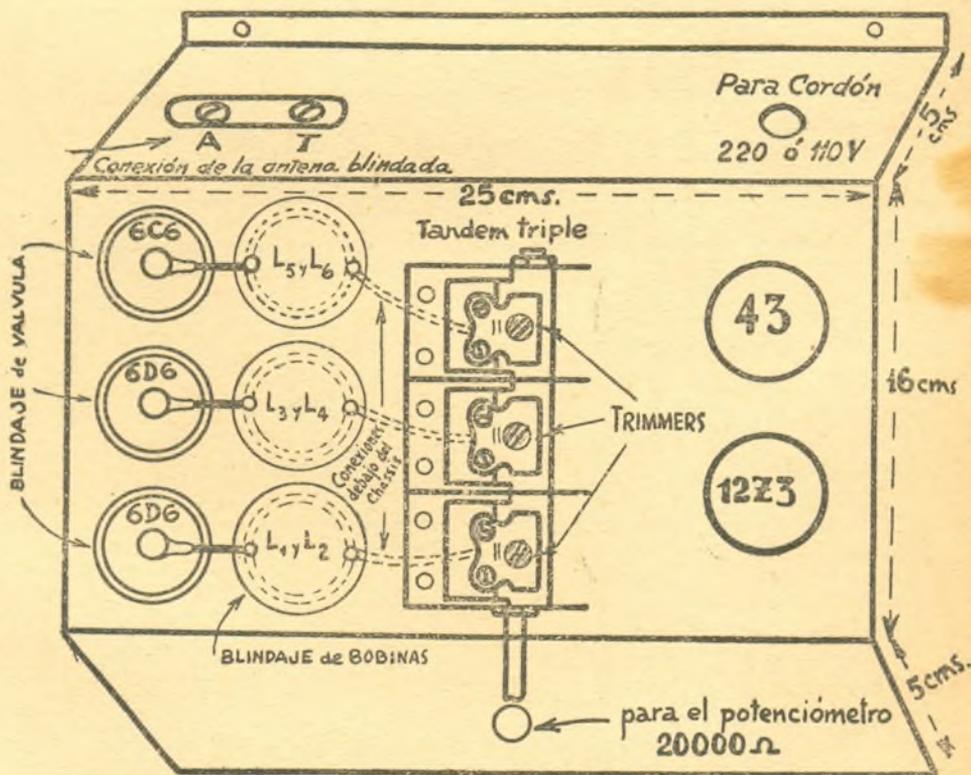


Fig. 225

y que es además, la energía que se gasta para producir el campo magnético que excitará la bobina móvil del altoparlante.

Las conexiones de los zócalos están dadas en la figura 224. La distribución de los elementos del receptor aparece en la figura 225 y en la figura 226, o sea la Lámina, se dan los detalles del circuito constructivo.

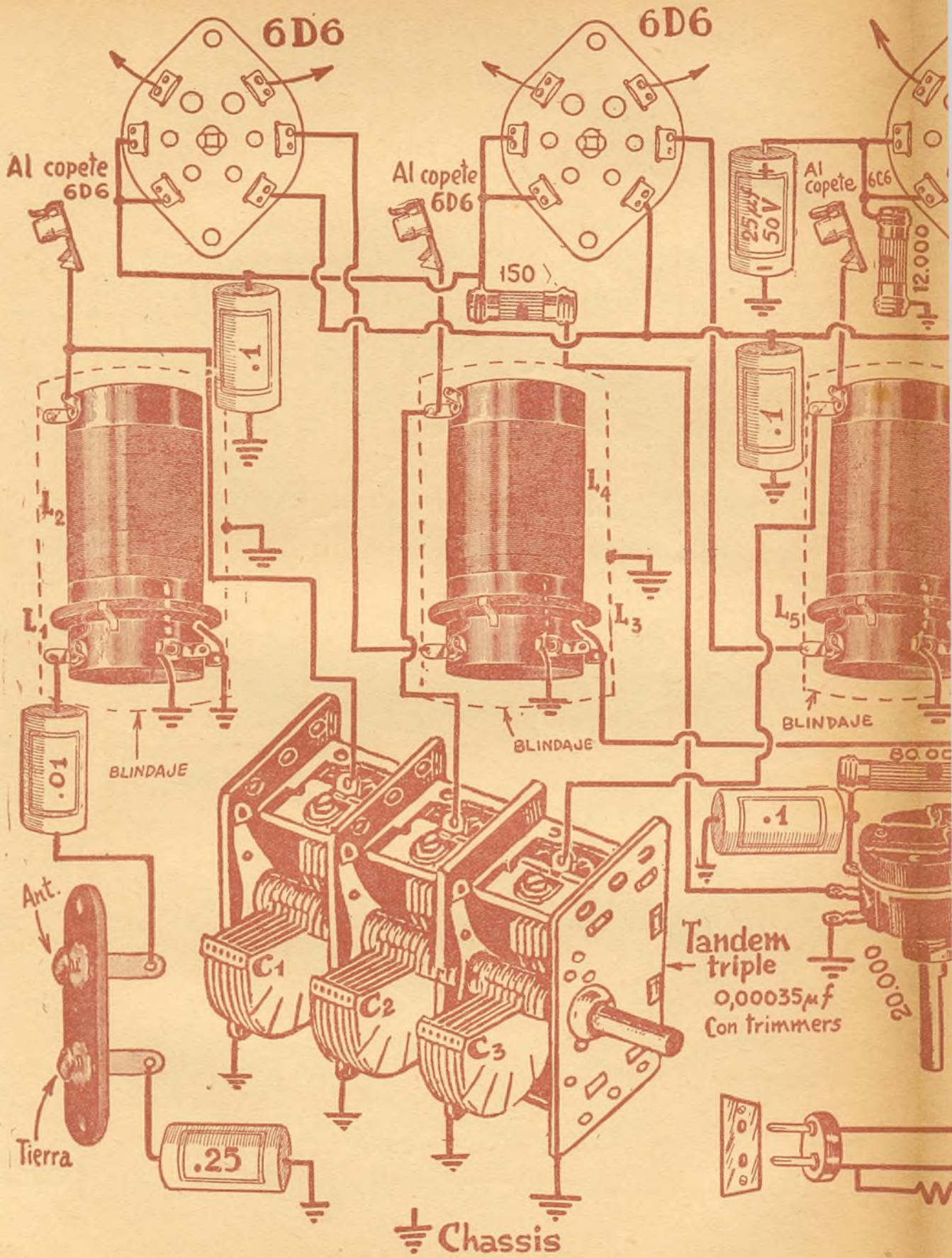
Las bobinas empleadas son exactamente iguales a las propuestas en los proyectos anteriores para los circuitos de la amplificadora de alta frecuencia sintonizada.

En este caso las tres bobinas son casi iguales en su aspecto exterior, pues solamente la bobina (transformador de alta frecuencia) del primer circuito sintonizado, tiene la inductancia un poco más elevada en la bobina de antena, que con respecto a los acoplamientos L_3 y L_5 . La calibración de las bobinas se efectúa durante el funcionamiento del receptor de acuerdo a lo expuesto en la Lección 42a.

Pero debe comprobarse, primeramente, si en los extremos del condensador variable, las estaciones son: con el tándem casi todo abierto Radio del Pueblo (LS6), y con el tándem casi todo cerrado Radio Callao (LS10). En esta comprobación se tendrá en cuenta solamente la bobina L_6 y luego de haber conseguido lo que acabamos de recordar, es decir, que se ha calibrado la bobina L_6 , se pasará a realizar lo que se aconsejó en la Lección 42a. Si los alumnos prefieren adquirir el juego de bobinas en el comercio, podrían hacerlo pidiendo un juego de bobinas para dos etapas de alta sintonizadas y para un triple tándem de capacidad 0,00035 μf .

La recepción que se logra con este tipo de aparato es excelente, pues las características del mismo permiten una reproducción del sonido casi sin distorsión. Si el circuito se arma con mucho cuidado, es posible obtener espléndidos resultados.

NOTA: La calibración de las bobinas se hará, empleando una antena exterior grande.



Cálculo de transformadores de corriente alternada empleados en radiotécnica.

Una de las aplicaciones más interesantes de los transformadores estáticos se presenta en la alimentación de los receptores y transmisores, por medio de la corriente alternada. Estos permiten obtener tensiones de valores distintos o iguales a los de la fuente de alimentación por medio de bobinados secundarios y aislados entre sí de acuerdo a las necesidades de trabajo.

Supongamos que queremos alimentar un receptor, en sus circuitos de placas y filamento, del tipo presentado en la Lección 42a. Se recordará que sugerimos la idea de corriente alternada. Para lo cual dijimos también, que podrían conectarse los filamentos en paralelo. Además, la tensión de placa la podemos obtener de una fuente de corriente alternada rectificada. Por lo que acabamos de decir, el lector podrá imaginarse que necesitaremos un transformador, cuyo primario sea tal que pueda conectarse a la red de canalización, de 220 V. o, si se quiere, a 110 V. Como secundarios necesitaríamos uno que nos suministre una tensión de 6,3 V. a 1,2 A.; un secundario para alimentar las placas de la válvula rectificadora cuyos valores veremos durante esta exposición, y otro secundario para la alimentación del filamento de la válvula rectificadora. Por lo tanto, tenemos ya una idea de cómo tendrá que ser nuestro transformador.

Antes de dar a conocer las fórmulas que nos servirán como base para los cálculos recordaremos a los lectores que la teoría del funcionamiento del transformador fué dada ya en la Lección 36a., pág. 49. En dicha lección se dejó bien aclarado lo que era un transformador, en lo que a funcionamiento se refiere.

En esa oportunidad se había tratado sobre la amplificación, en la cual intervienen corrientes cuyas frecuencias varían; en este caso solamente actuará una corriente cuya frecuencia será la de la corriente industrial, generalmente 50 Htz., o, en casos muy aislados, 25 Htz. Por lo tanto, en este caso, el cálculo de los transformadores resultará mucho más sencillo.

Si se conecta un bobinado arrollado sobre un núcleo de hierro a una fuente de energía de corriente alternada, se producirá un campo magnético variable cuya intensidad dependerá del número de espiras del bobinado y de la intensidad de la corriente que lo atraviesa. Si sobre el bobinado conectado a la red de canalización bobinamos otro, resultará que se producirá en éste una energía eléctrica inducida, por estar en el campo magnético del bobinado excitador y cuya f.e.m. inducida dependerá del número de espiras de este bobinado.

Como habíamos dicho en la Lección 36a., la tensión inducida es proporcional al número de espiras. De manera tal que si el bobinado excitador tiene 660 espiras y la tensión de la red de canalización es de 220 V., resultará

que la proporción entre las espiras y la tensión es de $\frac{660}{220} = 3$. Es decir,

que a cada Volt le corresponde 3 espiras del bobinado. Por lo tanto, si el bobinado que hemos arrollado sobre el primero tiene 1200 espiras, la tensión

inducida será de $\frac{1200}{3} = 400$ Volts. Por lo cual, el lector se dará cuenta

fácilmente de cómo se relaciona la tensión del primario con la del secundario.

También dijimos en otras lecciones anteriores, que cuando se empleaban energías eléctricas de baja frecuencia, sobre todo si se trata de transferencias de energía, se emplean núcleos de hierro para aumentar o reforzar el campo magnético variable, lográndose de esta manera inductancias elevadas en un espacio relativamente reducido.

Por esta razón, emplearemos núcleos de hierro en los transformadores de alimentación. Como veremos en seguida, el empleo de núcleos de hierro introduce en el transformador pérdidas que se traducen en aumento del consumo de la energía del bobinado primario. Actualmente se han perfeccionado hasta tal punto los hierros empleados en los transformadores, que la pérdida en el hierro es sumamente reducida.

Veamos rápidamente qué tipos de pérdidas se presentan en el núcleo. Las pérdidas en el núcleo más importantes son dos y se las conoce con el nombre de PERDIDAS DE HISTERESIS y la segunda PERDIDAS POR CORRIENTES DE FOUCAULT. Las pérdidas de histéresis se producen por la magnetización del núcleo, dando origen a la reducción de la intensidad del campo magnético variable. Para evitar estas pérdidas se emplean hierros cuya magnetización REMANENTE es muy pequeña.

Las pérdidas por corrientes de Foucault se presentan en la masa del hierro de la misma manera que habíamos estudiado en la Lección 44a. para los conductores.

Por lo tanto, para evitar que las corrientes circulares se produzcan en la menor cantidad posible, se emplean núcleos formados por chapas superpuestas y aisladas entre sí de muy pequeño espesor. Los espesores que se emplean son muy variados, dependiendo éstos del tipo de trabajo y la importancia del transformador. Los espesores más empleados oscilan alrededor de 0,3 y 0,5 mm.

En la figura 227 se muestra una laminación que superpuestas unas cuantas de éstas forman un núcleo como los empleados en los transformado-

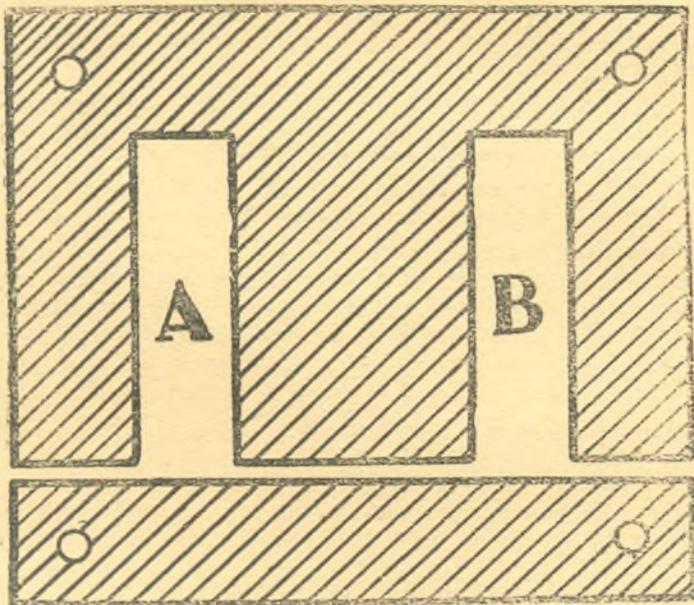


Fig. 227

res. Se puede apreciar en dicha figura que la laminación está formada por dos partes: una en forma de E y otra en forma de I. Esto permite

bobinar primeramente el bobinado sobre un carrete y luego llenar el espacio central del mismo con las laminaciones. En la figura 227 la I aparece separada de la E, pero en la práctica éstas se tocan por sus bordes y en la posición de la figura. Los espacios rectangulares A y B quedarán ocupados por el bobinado o bobinados a calcular. La laminación está hecha de tal manera, que el flujo magnético generado en la parte central del núcleo se ramifica en las dos ramas del núcleo, como puede verse en la figura 228. En la misma figura se indica la forma de un núcleo completo, es decir, con todas las laminaciones superpuestas de tal manera de formar un espesor de chapas "a" igual al ancho de la rama central del núcleo. De esta manera la sección del núcleo es cuadrada. Como el flujo magnético se divide en dos ramas, la sección de éstas es exactamente la mitad del de la rama central. Las líneas punteadas y con flecha indican el recorrido de la línea media magnética. En la práctica conviene que la sección del núcleo sea de forma cuadrada.

Es importante conocer la sección del núcleo (parte central), pues esto nos permite calcular el número de espiras que deberá tener el bobinado primario para un trabajo determinado. Para hallar la sección óptima del nú-

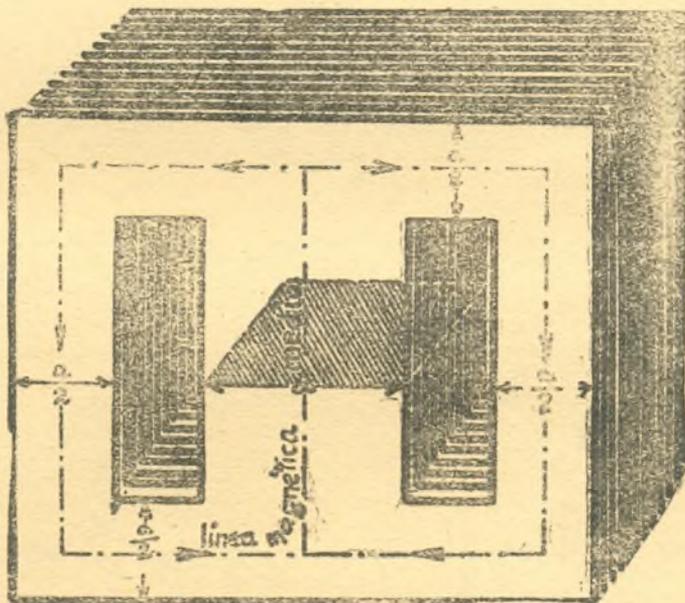


Fig. 228

cleo a emplear para el transformador se necesita saber cuál es la potencia eléctrica que absorberá el primario del transformador y una vez calculado este valor, se recurre a la fórmula 67 que damos a continuación:

$$S = \frac{\sqrt{W}}{0,73} \dots\dots\dots (67)$$

donde S., es la sección del núcleo que nos interesa conocer en centímetros cuadrados; W, es la potencia eléctrica que absorbe el primario del transformador, y 0,73, una constante.

También se puede emplear la curva de la figura 229, en la cual se han calculado los valores de las secciones de los núcleos de los transformadores en función de la potencia eléctrica que absorben los primarios. Así, por ejemplo, si un primario de transformador debe absorber una energía de 80 Watts,

según la curva de la figura 229, la sección óptima será de 10,4 centímetros cuadrados. Este valor, para que el alumno practique, puede comprobarlo

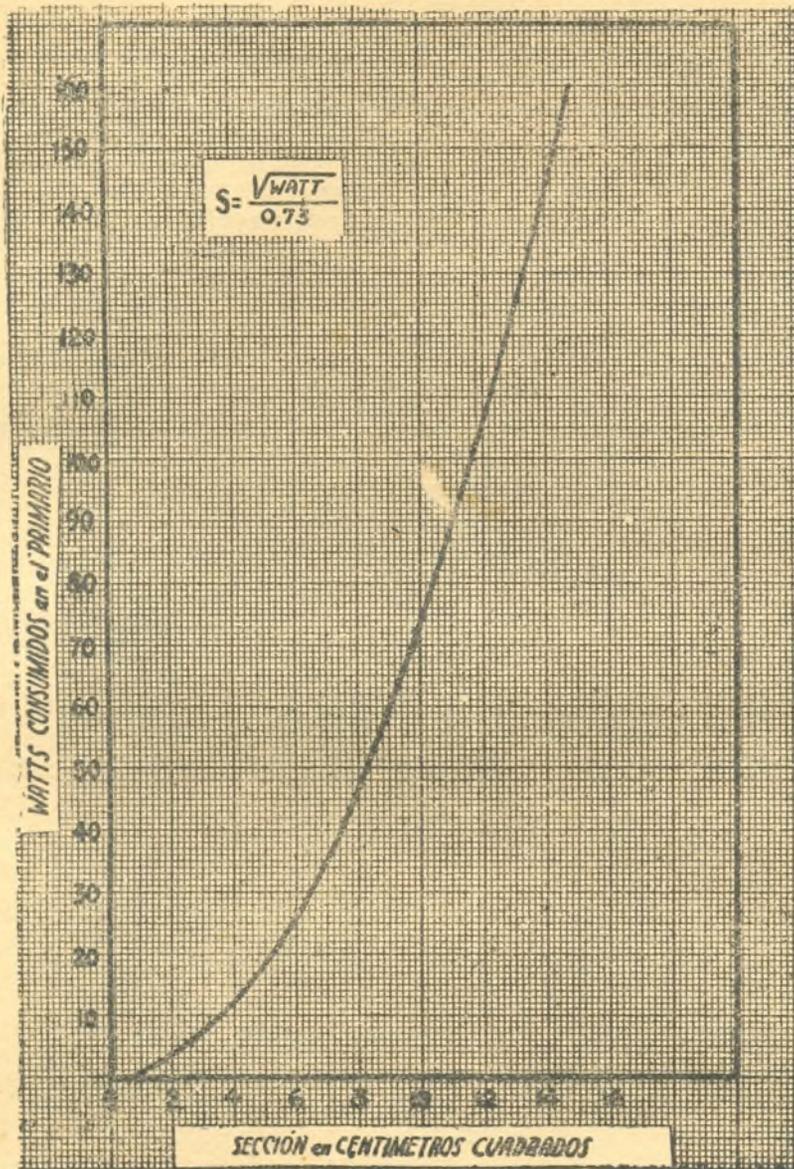


Fig. 229

con la fórmula 67, de la siguiente manera:

$$S = \frac{\sqrt{W}}{0,73} = \frac{\sqrt{90}}{0,73} = \frac{8,94}{0,73} = 12,24 \text{ cm}^2.$$

Veamos ahora cómo podemos hacer para conocer la energía que absorberá el primario del transformador que estamos proyectando. Supongamos entonces que el esquema del transformador que usaremos en el receptor estudiado en la Lección 42a., sea el de la figura 230. En la misma figura tenemos un cuadro preparado para ir colocando los valores que vayamos obteniendo. Si el bobinado secundario N.º 1 lo empleamos para alimentar

los filamentos de las cuatro válvulas en paralelo (6D6, 6D6, 6C6, 76) y como cada filamento necesita 6,3 V. y una intensidad de 0,3 Amp., resultará que el bobinado secundario N.º 1 deberá suministrar una energía eléctrica de 6,3 V. a 1,2 Amp., lo que significa: $W = E \times I = 6,3 \times 1,2 = 7,6$ Watts aproximadamente. Estos valores los colocaremos en el cuadro a fin de tenerlos siempre a mano.

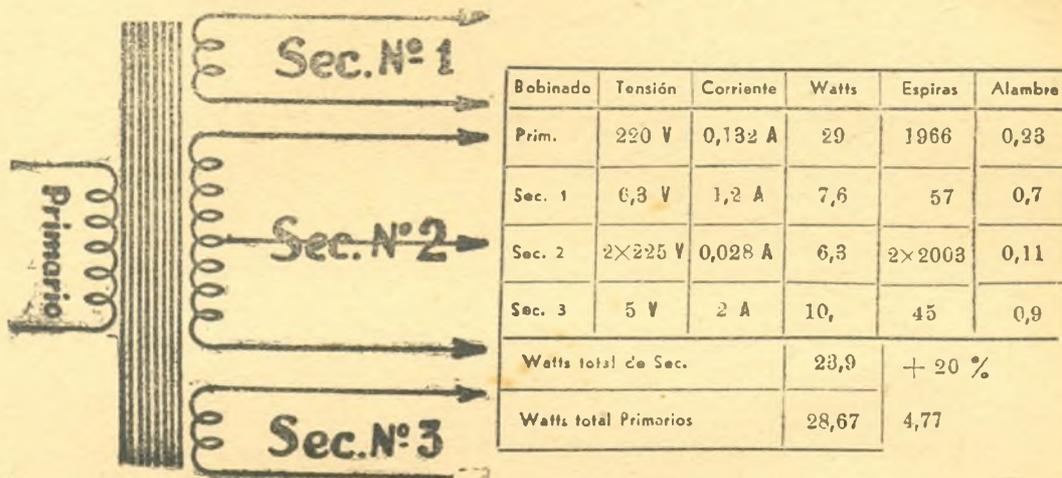


Fig. 230

Para conocer el voltaje que deberá tener el secundario, si es que emplearemos un rectificador de "onda completo", debemos ir a la curva de la válvula por dos razones: primero, para conocer las características del filamento; segundo: porque necesitamos conocer qué tipo de filtro debemos usar en la válvula rectificadora a fin de buscar el valor de la tensión que deberá suministrar el bobinado secundario número 2. Además, si la válvula rectificadora es del tipo doble diodo estudiado en la Lección 46a., el secundario deberá ser construido de manera tal que la tensión respecto al punto medio del bobinado sea la tensión de trabajo. Supongamos que la válvula que emplearemos en el rectificador sea una del tipo 80 y cuyas características se dan en la figura 231. En la figura 232 se indica el circuito con que fueron trazadas las curvas de la figura 231. Veamos cuáles serán las curvas que tendremos en cuenta para nuestro problema.

La tensión de placa de las válvulas del receptor la habíamos fijado en 250 V., de acuerdo a las curvas características de las mismas.

Entonces sabemos que a la salida del filtro, es decir, entre los extremos A y B de la figura 232, deberá existir una diferencia de potencial de 250 V. cuando la intensidad de la corriente a través del filtro es de unos 29 M.A. aproximadamente. La intensidad de la corriente del circuito de placa de la válvula 6D6 es de 8,2 M.A. y la de pantalla 2 M.A., por lo tanto entre la corriente de placa y la de pantalla, suman 10,2 M.A. Como son dos las válvulas 6D6 empleadas, resultará que la corriente de ambas es de 20,4 M.A. que, sumados 0,5 M.A. de la corriente de placa y grilla de la válvula 6C6, dan 20,9 M.A. Además, habrá que sumar la corriente de placa de la válvula 76, y que es de unos 5 M.A.; por lo tanto, la corriente total es de 2,9 M.A., que finalmente, sumados la intensidad de la corriente que atraviesa el divisor de voltaje para producir la polarización de las válvulas 6D6, que es de 2 M.A., tendremos una corriente total de 27,9 M.A., o sean 28 M.A. prácticamente. Esto nos indica que el sistema de rectificación y de filtro debe estar en condiciones de suministrar una energía de 250 Volts a una intensidad de corriente de 28 M.A. Veamos ahora qué ten-

CARACTERÍSTICAS VÁLVULA 80

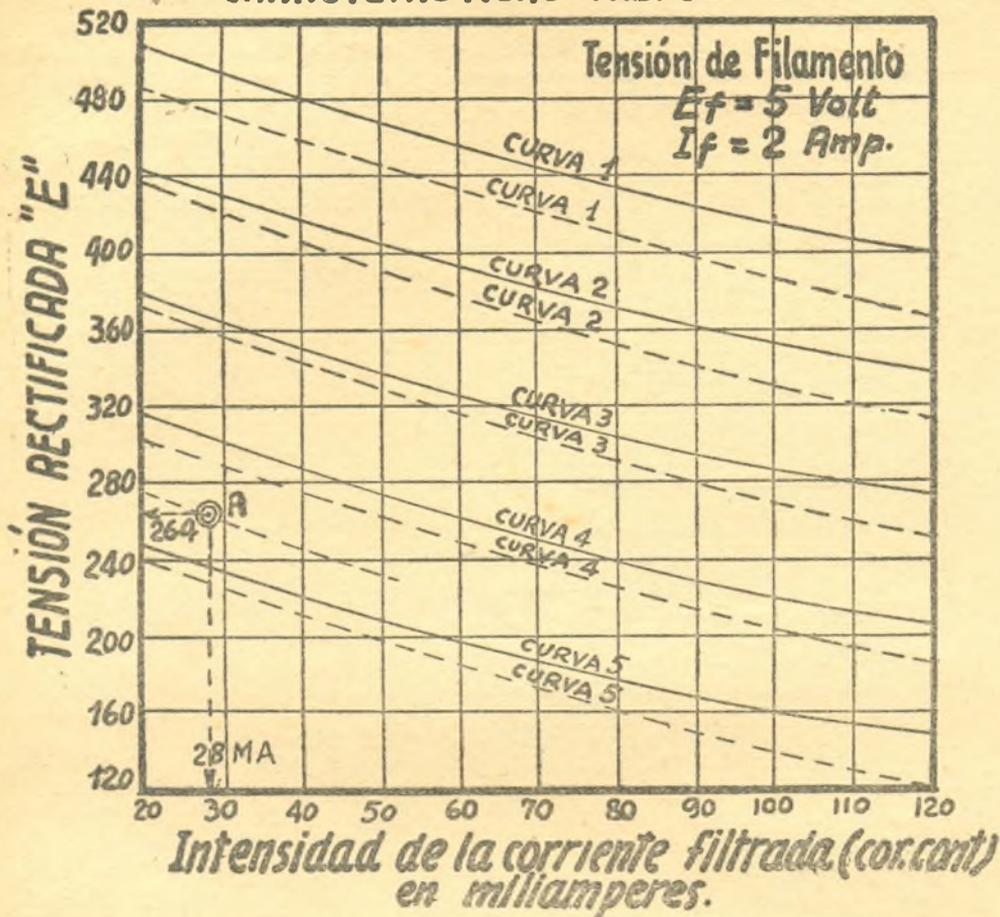


Fig. 231

REFERENCIAS

	Curvas 2
Curva con C, = 4 μf	Ec. a. = 350 V. por placa
	Curvas 3
Curva con C, = 2 μf	Ec. a. = 300 V. por placa
	Curvas 4
Curvas 1	Ec. a. = 250 V. por placa
Ec. a. = 400 V. por placa	Curvas 5
	Ec. a. = 200 V. por placa

sión habrá a la salida de la válvula rectificadora, o sea la que nos indicaría el voltímetro conectado en el circuito de la figura 232 y marcado con la letra E. Si la inductancia de 20 Hy conectada en serie con el circuito no tuviese resistencia óhmica, el voltímetro deberá indicarnos 250 V. para que el receptor tenga los valores de tensión correctos. Pero como esto no es posible, resultará que necesitamos saber cuál es la resistencia óhmica de la inductancia; para abreviar, supongamos que la resistencia óhmica de la inductancia es de 500 Ω , es decir, que la caída de tensión que se produciría entre sus extremos al pasaje de una corriente de 28 M.A. es: $E_i = 0,028 \times 500 = 14 \text{ V.}$ Por lo tanto, el voltímetro E deberá indicar una tensión de

$250 + 14 = 264$ Volts, o sea la tensión que deberá entregar el sistema rectificador.

Conociendo el valor de la tensión rectificada y suponiendo que el valor del condensador C_1 sea de $4 \mu\text{f}$ consultaremos las curvas de figura 231 a

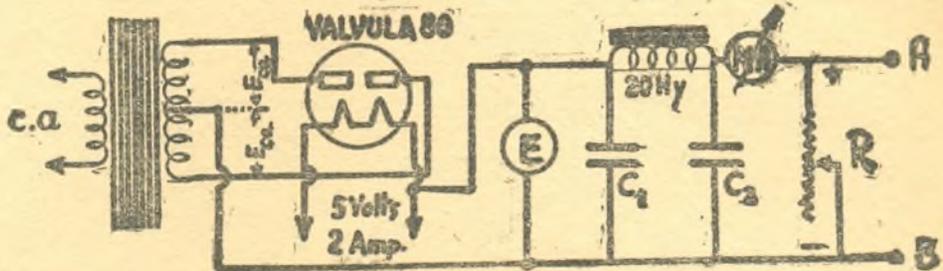


Fig. 232

fin de ver qué tensión deberá tener cada rama del bobinado secundario N.º 2, o sea la tensión de corriente alternada que se aplicaría a las placas de la válvula rectificadora.

Sabemos que la tensión rectificada es de 264 V.; la intensidad de la corriente de 28 M.A. y la capacidad de C_1 de $4 \mu\text{f}$.

Las curvas de línea llena (figura 231) son las que corresponden, cuando el condensador C_1 es de $4 \mu\text{f}$. Vemos qué curva pasa por la línea de 264 V. y de $I = 28$ M.A. En realidad, la figura no pasa ninguna curva por el punto A; por lo tanto, veamos qué valores le corresponden a la tensión de corriente alternada aplicadas a las placas de la válvula. El punto A está colocado entre las curvas 4 y 5 de la figura 231 que corresponden respectivamente a curvas trazadas con tensiones de 250 y 200 V. de c.a. El punto A se encuentra entre ambas, de manera que podemos tomar como valor exacto de 225 V., que corresponde a la tensión de corriente alternada a aplicarse a cada placa de la válvula rectificadora.

Sabemos entonces que cada rama del secundario N.º 2 deberá entregar una energía de 225 V. a una intensidad de corriente de 28 M.A. Por lo tanto, la potencia disponible para el sistema de placas del rectificador es de $W = 225 \times 0,028 = 6,3$ Watts. Por lo tanto, este valor calculado lo anotamos en la tabla de la figura 230.

¿Cuáles serán las características del bobinado secundario N.º 3? Observando las curvas de la figura 231, veremos que éstas fueron trazadas con una tensión de filamento de 5 V. y una intensidad de 2 Amp.; por lo tanto, la energía absorbida por el filamento de la válvula rectificadora es de $5 \times 2 = 10$ Watts. Anotemos este último dato.

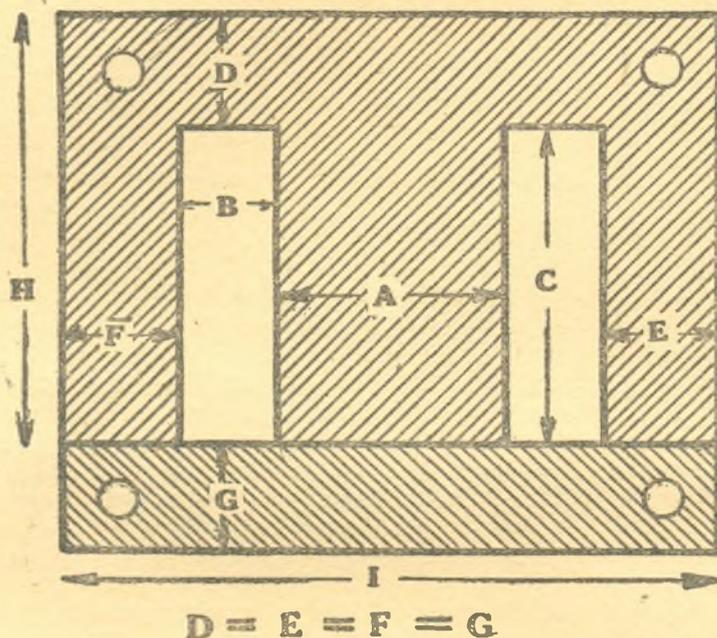
Si tomamos en cuenta como consumo en el primario las energías de los bobinados, sería erróneo. Esto solamente se produciría en el caso ideal en el cual las pérdidas no existen; por lo tanto, nos conviene fijar un porcentaje de rendimiento a nuestro transformador y que nos servirá también para los cálculos de los otros transformadores. En tipos chicos de transformadores como el que estamos diseñando, el rendimiento es de un 80 o/o, es decir, que si en el primario se gasta una energía eléctrica determinada, en los secundarios solamente se aprovechará el 80 o/o de esa energía, pues la diferencia del 20 o/o se gasta en vencer las pérdidas del transformador (en el núcleo y en el alambre por efecto Joule). Si el consumo total de los secundarios en nuestro proyecto es de 23,9 Watts, tendremos que sumar un 20 o/o de este valor, o sea 4,77 Watts por pérdidas, o sea que hacen un total de 28,67 Watts.

Conociendo ahora la energía que tendrá que entregar el bobinado primario, podremos calcular cuál será la sección del núcleo del transforma-

dor, de acuerdo a la curva de la figura 229 o, si se quiere, por medio de la fórmula 67.

Empleando la curva de la figura 229, por mayor rapidez, obtenemos un valor de 6,3 centímetros cuadrados de sección de núcleo. Veamos qué características tiene el transformador cuya sección es de 6,3 cm². En la Tabla XI se indican las medidas y los valores de las secciones de distintos tipos de núcleos de tamaños standard.

TABLA XI



TIPO	A	B	C	D=E= F=G	H		Sección S	Volumen cm ³	Ancho de bo- binado	Línea Mac. media	Espira media
P	1,35	0,8	2,05	0,65	2,7	4,2	1,82	14,6	1,6	8,8	
Q	1,6	0,8	2,35	0,8	3,2	4,8	2,56	22,8	1,9	10,6	
R	1,9	1,0	2,85	0,95	3,8	5,7	3,61	40	2,4	12,8	
S	2,25	1,1	3,3	1,1	4,4	6,7	5,1	66	2,8	14,8	
T	2,54	1,25	3,8	1,25	5,1	7,6	6,45	76	3,3	16,9	
U	2,9	1,45	4,3	1,45	5,7	8,6	8,4	100	3,8	18,9	
V	3,2	1,6	4,8	1,6	6,4	9,6	10,25	183	4,3	21,0	
W	3,5	1,75	5,2	1,75	7,0	10,5	12,25	240	4,8	22,8	
X	3,85	1,9	5,7	1,9	7,6	11,5	14,8	320	5,3	24,7	
Y	4,8	2,4	7,1	2,4	9,5	14,3	23,0	600	6,6	31,0	
Z	5,7	3,2	9,0	3,0	12,2	18,0	32,5	1220	8,4	39,4	

Hemos calculado una sección de 6,3 cm²; por lo tanto, consultando la Tabla XI, encontramos en la columna de secciones, una sección muy próxima al valor calculado y que es de 6,45 cm² y que corresponde al tipo "T" (bautizado por nosotros); por lo tanto, todas las demás medidas del núcleo las tenemos en la misma tabla.

Adoptemos, pues, esa laminación, porque prácticamente es la que necesitamos, o sea la laminación "T".

Puesto que ya conocemos la laminación, estamos en condiciones de calcular, en primer lugar, el número de espiras que corresponden al primario mediante la fórmula 68 y además elegir la calidad de la laminación a fin de conocer cuál es la inducción máxima permitida por el núcleo.

La fórmula para calcular el número de espiras del primario es la siguiente:

$$N = \frac{E \times 100.000.000}{4,44 \times f \times S \times B} \dots\dots\dots (68)$$

Donde E es la tensión aplicada al primario del transformador; f es la frecuencia de la corriente alternada, S es la sección en cm² y B es la inducción magnética en el hierro, cuyo valor varía con el tipo de hierro; N es el número de espiras resultante del primario.

En la Tabla XII se dan a conocer varios tipos de chapas de hierro y de aceros especiales para transformadores, un tipo para cada uso, con sus pérdidas para corrientes alternadas de 50 Hz. y una inducción B = 10.000 líneas. Dichas pérdidas están dadas en Watts por kilo de laminación (**).

TABLA XII

T I P O S	Espesor en mm.	0,3	0,35	0,40	0,436	0,45	0,476	0,50	0,55	0,60	0,632
Armco para Motores		2,22	2,32	2,50	2,62	2,70	2,77	2,90	3,12	3,45	3,71
Armco Eléctrico		1,96	2,08	2,24	2,32	2,38	2,40	2,54	2,73	2,97	3,12
Armco Elec. Especial		1,74	1,80	1,89	2,01	2,06	2,10	2,14	2,19	2,27	2,32
Armco Transf. Interm.		1,42	1,46	1,53	1,62	1,66	1,71	1,76	1,85	1,91	1,96
Armco Tran-Cor 1		1,35	1,37	1,44	1,55	1,58	1,62	1,67	1,74	1,80	1,84
Armco Tran-Cor 2		1,28	1,28	1,35	1,46	1,49	1,53	1,57	1,64	1,70	1,73
Armco Tran-Cor 3		1,17	1,17	1,23	1,28	1,32	1,35	1,40	—	—	—
Armco Tran-Cor 4		1,07	1,07	1,10	1,16	1,20	1,23	1,27	—	—	—
Armco Tran-Cor 5		1,00	1,00	—	—	—	—	—	—	—	—

¿Cómo se emplean estos tipos de laminaciones? La fábrica aconseja que estos tipos se empleen de acuerdo a las siguientes indicaciones: para transformadores de amplificación de baja frecuencia, emplear Armco-tran-Cor 5 de 0,35 mms. de espesor, y también recomiendan para este mismo uso el Armco-tran-Cor 4 del mismo espesor. Para impedancias de acoplamiento en amplificadores de baja frecuencia, el Armco-tran-Cor 2 y espesores entre 0,35 y 0,476 mms. Para bobinas de circuitos telefónicos, la misma laminación que para impedancias. Para reactores, Armco-tran-Cor 1 de 0,476 mms. Para impedancias de filtro, Armco Eléctrico Especial, de espesores entre 0,476 y 0,632 mms. Para transformadores pequeños, como el tipo que estamos diseñando, Armco Transformadores Intermedios de espesor 0,476 mms. y para bobinas de inducción simplemente, Armco Eléctrico Especial de 0,476 milímetros.

Como conclusión, obtenemos de la Tabla XII la pérdida en el núcleo en Watts de cada kilo de laminación de manera que, de acuerdo a lo aconsejado por la fábrica de las laminaciones, usamos chapas de Armco, Transformadores Intermedios, de 0,476 mms. de espesor, resulta que la pérdida por

(*) Usaremos la denominación según la tabla, para distinguir las laminaciones que se usarán, pues es más cómodo decir tal tipo de laminación por la letra correspondiente y no darla en función de las medidas.

(**) Esta tabla fué tomada del catálogo de THE ARMCO INTERNACIONAL CORP. 1934.

cada kilo es de 1,71 Watts: por lo que ven, las pérdidas de este núcleo son muy reducidas. A continuación damos los valores que emplearemos para las inducciones B de los distintos hierros: Tabla XIII.

TABLA XIII

TIPO	B
Armco Tran-Cor 5	9.000
" " " 4 y 3	9.000
" " " 2 y 1	9.000
Transform. Inter.	8.000
Electric. Espec.	7.000
Hierro dulce común	5.000

Si la laminación que emplearemos es del tipo para transformadores intermedios, resultará que de acuerdo a la Tabla XIII, la inducción B es igual a 8.000 líneas.

Veamos si estamos en condiciones de calcular el número de espiras del primario del transformador. De la fórmula 68, conocemos $E = 220$ Volts, $f = 50$ Hz.; $S = 6,3$ cm², y $B = 8.000$ líneas magnéticas. Por lo tanto, conocemos todos los factores y estamos en condiciones de calcular el número de espiras del primario. Por lo tanto sustituycamos valores:

$$N = \frac{E \times 100.000.000}{4,44 \times f \times S \times B} = \frac{220 \times 100.000.000}{4,44 \times 50 \times 6,3 \times 8.000} = \frac{220.000.000.000}{11.188.800} = 1966 \text{ espiras.}$$

Hemos calculado el número de espiras que deberá tener el bobinado primario y que es de 1966 espiras, es decir, $N = 1966$ espiras. Si el lector no deseara realizar cálculos largos, podría recurrir al Abaco N.º 16, por medio del cual se pueden realizar los mismos cálculos.

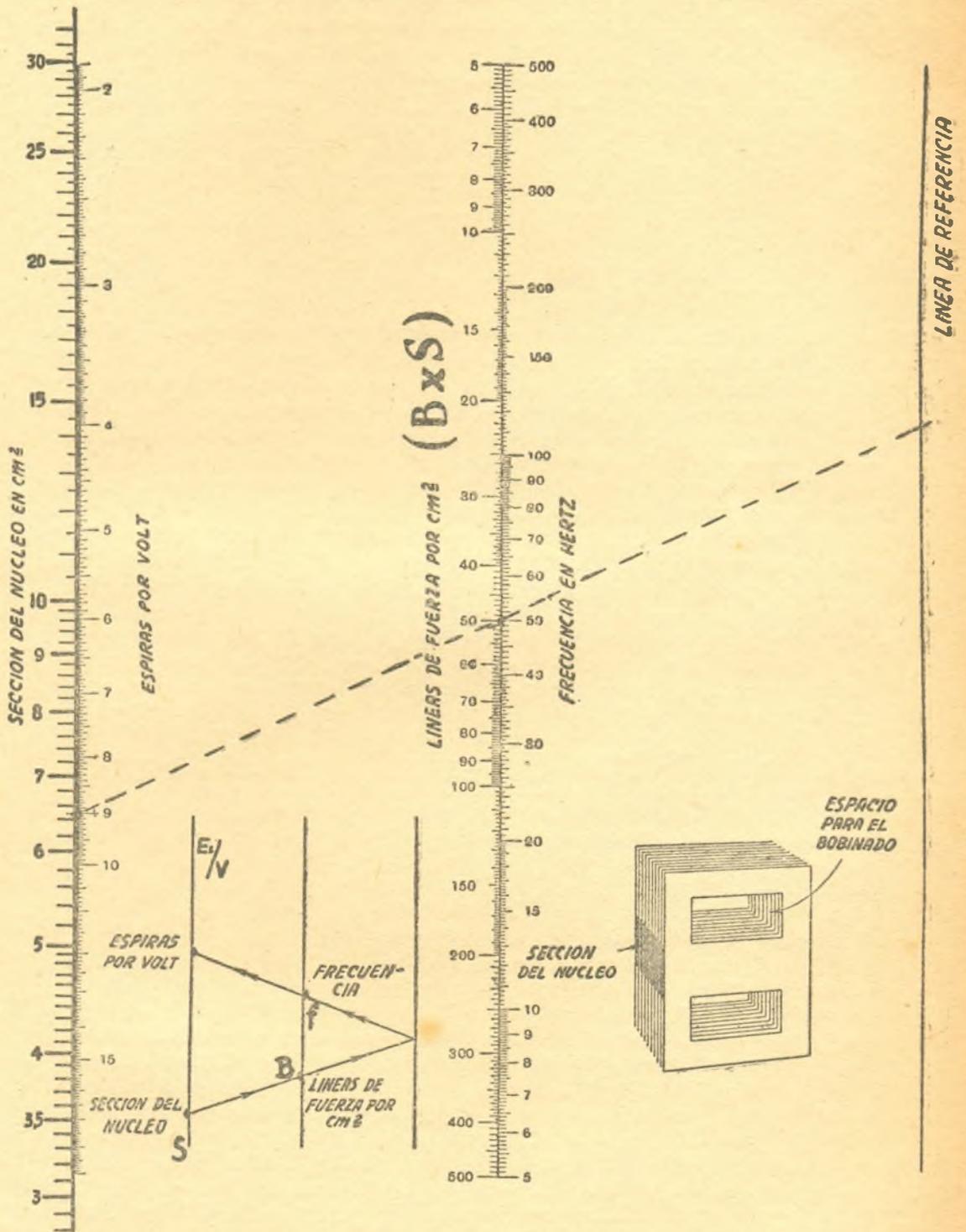
Con el Abaco N.º 16 se opera de la siguiente manera: Sobre la línea de valores de sección de núcleos, se marca con un punto la que corresponde al transformador que calculamos; luego se hace lo mismo sobre la línea de frecuencia de la corriente alternada del primario (en nuestro caso 50 Hz.), con otro punto. Se unen los puntos marcados por medio de una recta, se prolonga ésta hasta que corte la línea de referencia, en el punto que corta la línea de referencia, se une con el punto que corresponde al producto del valor de B multiplicado por la sección del núcleo (en el ejemplo de nuestro transformador, sería $8.000 \times 6,3 = 50.400$, o sea 50.400 líneas de fuerza por cm²). Se unen los puntos, líneas de fuerza por centímetro cuadrado, y prolongando la línea de los valores que une dichos puntos nos dará sobre la línea, de número de espiras por Volt, el valor que buscamos. Observará el lector que dicho ábaco da directamente el valor del número de espiras por Volt, lo que todavía significa el ahorro de otra operación, como veremos en seguida. Para calcular el número de espiras de los bobinados secundarios, es preciso conocer cuántas espiras le corresponden a cada Volt; por lo tanto, si el primario es para 220 V. y necesita, para este transformador, 1966

sultará que el número de espiras por Volt será el cociente de $\frac{1966}{220} = 9$

espiras por Volt aproximadamente.

Para saber qué cantidad de espiras necesita el secundario N.º 1 para conseguir una f.e.m. inducida de 6,3 Volt, sólo tendremos que multiplicar

ABACO N.º 16



ESPIRAS POR VOLT

el número de espiras por Volt (en nuestro caso 9) por la tensión que se adquiere en el bobinado. De esta manera tendremos que $6,3 \times 9 = 57$ espiras aproximadamente son las que necesita el bobinado secundario N.º 1. El bobinado secundario N.º 2 necesita por sección 225 Volt, de manera que el número de espiras serán: $225 \times 9 = 2025$ espiras aproximadamente. Como se necesitan dos secciones iguales, resultará que cada una de ellas tendrá que tener 2025 espiras. El secundario número 3 debe tener 5 Volt; por lo tanto, el número de espiras es de: $5 \times 9 = 45$ espiras. Por lo tanto, conocemos ya el número de espiras de cada bobinado, a saber:

Primario	220 V.	: 1966 espiras
Secundario 1	6,3 V.	: 57 "
Secundario 2	225 V.	: 2025 "
Secundario 3	5 V.	: 45 "

Nos queda solamente saber, por último, dos cosas: qué espesor deberá tener el alambre que emplearemos, y qué tipo, y después, si es posible, una vez hecho el bobinado, que éste tenga cabida en el espacio destinado dentro del núcleo.

Para calcular lo que acabamos de decir, debemos conocer cuál es el espacio que ocupa el bobinado, para lo cual necesitamos conocer las medidas de los alambres de los bobinados. Para calcular el diámetro del alambre del primario y secundario, procederemos de la siguiente manera: Por lo general, se toma, para calcular las medidas de los alambres, valores prácticos porque éstos pueden variar según el uso a que está destinado el transformador. Por esta razón se emplea, por lo general, como valor base para transformadores:

Trabajo intermitente 3 Amperes por milímetro cuadrado de cable
 Trabajo permanente 2 " " " " " " "

Estos cables, se entiende, son de cobre. De acuerdo con los valores que acabamos de dar, resulta muy fácil calcular el diámetro correspondiente a cada bobinado, pues conocemos cuáles son las intensidades de la corriente que lo atravesará. Como en el caso que nos ocupa, el transformador trabajará de una manera intermitente, de manera que estamos en condiciones de calcular las secciones de alambre. Empecemos por el bobinado primario:

$$\text{Si la corriente es de } 0,132 \text{ A. (puesto que: } I = \frac{W}{E} = \frac{28,67}{220} = 0,132$$

Amperes), necesitaremos una sección determinada de cable. Si para 3 Amperes se necesita 1 milímetro cuadrado, para 0,132 Amperes se necesitarán

$$\frac{0,132}{3} = 0,044 \text{ mm}^2; \text{ si ahora quisiéramos saber qué diámetro tiene el}$$

alambre correspondiente a $0,044 \text{ mm}^2$, observando la tabla II, Lección 11a., vemos que la sección calculada (en la columna de secciones) está entre dos valores: $0,0416$ y $0,0491 \text{ mm}^2$; por lo tanto, podríamos tomar cualquiera de los dos valores. Pero tenemos la sección menor, pues siempre tendremos tiempo, antes de construir el transformador, de aumentar la sección del alambre, pues como veremos en seguida, tendremos que calcular el espacio del bobinado para verificar si el bobinado calculado tiene cabida en el núcleo.

Adoptamos para el primario un alambre de cobre esmaltado de $0,0416$ milímetros cuadrados, o sean $0,023$ mms. de diámetro. Veamos ahora qué sección de alambre le corresponde al secundario N.º 1. Si la intensidad de la corriente que lo atraviesa es de $1,2$ Amp., calcularemos el alambre de la misma manera que lo hicimos con el primario; por lo tanto, si 3 Amp. ne-

$$\text{cesitan } 1 \text{ mm}^2 \text{ de sección de alambre, } 1,2 \text{ Amp. necesitarán } \frac{1,2}{3} = 0,4 \text{ mi-}$$

límetros cuadrados que, según la Tabla II, encontramos que el valor calculado se encuentra entre dos valores de la tabla; por lo tanto, nos decidiremos por el de menor sección, por las mismas razones expuestas un poco más arriba, o sea, entonces, $0,3848 \text{ mm}^2$ es decir que el alambre calculado tiene un diámetro de $0,70 \text{ mms.}$ Calculemos ahora el alambre del secundario N.º 2.

La corriente de dicho bobinado es de $0,028 \text{ A.}$, por lo tanto, si para 3 Amperes se necesita 1 mm^2 de sección, resultará que si la corriente es de $0,028 \text{ A.}$, la sección del alambre sería: $\frac{0,028}{3} = 0,0935 \text{ mm}^2$ y que, según

la Tabla II, vemos que el valor más próximo es de $0,095 \text{ mm}^2$, pues la menor al valor calculado daría mucho error, ya que se trata de alambre de secciones muy delgadas. Al valor de sección calculado le corresponde un diámetro de $0,11 \text{ mm.}$ Por último, calcularemos la sección del secundario N.º 3, por el cual circulará una corriente de 2 Amp. ; por lo tanto, si seguimos el mismo razonamiento que en los anteriores, calcularíamos una sección de $0,066 \text{ mm}^2$ y un diámetro de alambre de $0,90 \text{ mm.}$ Por lo tanto, podemos resumir en una tabla los valores calculados, como sigue:

Primario	alambre $0,23 \text{ mms.}$ de diámetro
Secundario N.º 1	" $0,70$ " " "
Secundario N.º 2	" $0,11$ " " "
Secundario N.º 3	" $0,90$ " " "

Después de haber fijado los valores de los diámetros de los alambres, debemos elegir el tipo de alambre (si es esmaltado, o esmaltado con una capa de algodón u otros tipos, como podría verse en la Tabla XIV). Para trabajos donde los transformadores trabajan con tensiones relativamente bajas, podría utilizarse alambres aislados con esmalte, pues además, si empleamos capas de algodón o seda, el bobinado resultaría excesivamente abultado.

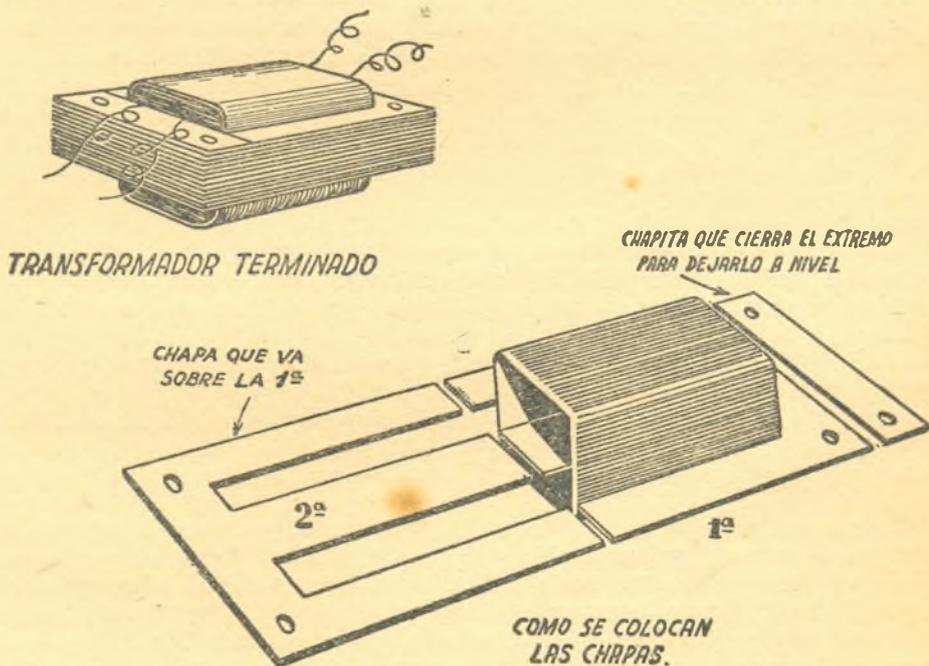


Fig. 233

Los diámetros calculados se entienden como diámetro "puro", es decir, el alambre sin ninguna clase de aislación (pues en el cálculo la única parte conductora es la parte metálica); por lo tanto, habrá que tener en cuenta

que el diámetro del alambre quedará aumentado según el espesor que tenga la capa de aislación que recubre la superficie del conductor.

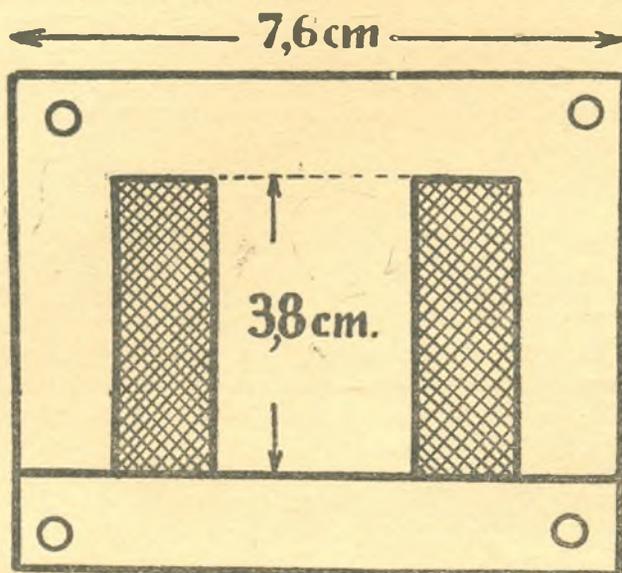


Fig. 234

Antes de calcular el espacio ocupado por el bobinado, veamos la figura 233 en la cual se indica de una manera gráfica la forma que tendrá el bobinado una vez construido y la posición que éste ocupa en el espacio libre del núcleo. Además, para mayor claridad tratamos de reconstruir la chapa del núcleo que hemos calculado para tener una idea de las dimensiones del mismo. Esto lo podemos hacer con la ayuda de la Tabla XI. De esta manera obtenemos la figura 234, en la cual se indica con líneas rayadas el espacio que ocupará el bobinado. Si se observa en la columna de ancho de bobinados de la Tabla XI, se verá que se indica para la laminación calculada, un ancho del bobinado de 3,3 cms. Esto quiere decir que si el bobinado lo realizamos por capas superpuestas, cada capa ocupará un ancho de 3,3 cms. De manera, por ejemplo, que si el alambre del primario es de 0,23 mms., de diámetro con la capa de esmalte, será de 0,25 mms. de diámetro (Tabla XIV), de manera que si el ancho del bobinado es de 3,3 cms., o sea 33 mms., resultará que se podrá poner una espira al lado de la otra en una cantidad de:

$$\frac{33}{0,25} = 132 \text{ espiras por capa. Es decir, que la cantidad calculada es la que corresponderá a la capa; por lo tanto, si el primario tiene } \frac{1966}{132} = 15 \text{ capas. Conocido el número de capas con que será construido el primario, podemos calcular la altura que ocupará el primario una vez que haya sido bobinado; por lo tanto, si el espesor de la capa de la bobina es el espesor del alambre, resultará que si son 15 el número de capas, la altura total sería: } 0,25 \times 15 = 3,75 \text{ mms.}$$

Por tener que bobinar sobre el primario, el secundario N.º 2, lo calcularemos en seguida. Por lo tanto, si el espesor del alambre más el esmalte es de 0,13 mm. (según Tabla XIV), y el ancho de la bobina es de 33 mms., re-

$$\text{resultará que el número de espiras por capa es de } \frac{33}{0,13} = 254 \text{ espiras por}$$

TABLA

Diámetro del alambre desnudo mm.	ALAMBRE ESMALTADO			Alambre esmaltado con una capa algodón		Alambre esmaltado con una capa de seda		Alambre esmaltado con una capa de seda	
	Diámetro total aprox. mm.	Resistencia aprox. ohms/kg.	Cantidad aprox. metros/kg.	Diámetro total aprox. mm.	Cantidad aprox. metros/kg.	Diámetro total aprox. mm.	Cantidad aprox. metros/kg.	Diámetro total aprox. mm.	Cantidad aprox. metros/kg.
0.04	0.05	13700	75000						
0.05	0.06	8750	50000			0.10	39500	0.11	37600
0.06	0.07	6070	34000			0.11	28200	0.12	28100
0.07	0.08	4460	25600			0.12	23606	0.13	21800
0.08	0.09	3420	20000			0.13	18700	0.14	17300
0.09	0.10	2700	16000			0.14	15100	0.15	14100
0.10	0.11	2190	13000	0.19	10200	0.15	12400	0.16	11550
0.11	0.13	1810	10800	0.21	8700	0.17	10400	0.17	10000
0.12	0.14	1520	9200	0.22	7580	0.18	8800	0.18	8600
0.13	0.15	1300	7900	0.23	6640	0.19	7560	0.19	7500
0.14	0.16	1120	6800	0.24	5790	0.20	6620	0.20	6500
0.15	0.17	970	6000	0.25	5200	0.21	5740	0.21	5700
0.16	0.18	844	5300	0.26	4650	0.22	5090	0.22	5050
0.17	0.19	757	4700	0.27	4160	0.23	4560	0.23	4500
0.18	0.20	676	4200	0.28	3750	0.24	4090	0.24	4050
0.19	0.21	605	3700	0.29	3350	0.25	3680	0.25	3700
0.20	0.22	547	3400	0.31	3060	0.26	3320	0.26	3300
0.23	0.25	381	2704	0.33	2500	0.28	2700	0.28	2700
0.25	0.27	351	2200	0.36	2030	0.31	2150	0.31	2150
0.28	0.31	259.4	1824	0.39	1700	0.34	1800	0.34	1800
0.30	0.33	243	1550	0.42	1430	0.38	1510	0.37	1500
0.32	0.34	198.6	1397	0.44	1200	0.40	1300	0.40	1300
0.35	0.38	178	1150	0.47	1050	0.43	1120	0.43	1100
0.38	0.41	140.8	990.7	0.49	920	0.45	1020	0.45	1020
0.40	0.43	137	880	0.52	830	0.48	860	0.47	850
0.45	0.48	108	690	0.57	660	0.53	680	0.52	680
0.50	0.53	87.5	560	0.63	540	0.59	550	0.59	550
0.55	0.58	72.3	470	0.68	440	0.65	460	0.64	450
0.60	0.63	60.7	390	0.74	375	0.70	387	0.69	380
0.65	0.69	51.7	340	0.79	320	0.75	334	0.74	330
0.70	0.74	44.6	290	0.84	275	0.80	285	0.80	280
0.75	0.79	38.9	250	0.89	240	0.86	246	0.85	250
0.89	0.84	34.1	230	0.94	210	0.91	219	0.90	220
0.85	0.89	30.2	200	0.99	190	0.96	197	0.95	190
0.90	0.94	26.9	175	1.04	170	1.01	174	1.00	170
0.95	0.99	24.3	160	1.09	150	1.06	158	1.05	155
1.00	1.05	21.9	140	1.17	140	1.11	141	1.10	140
1.10	1.15	18.1	120	1.27	115	1.22	120	1.20	120
1.20	1.25	15.2	100	1.37	95	1.32	100	1.30	100
1.30	1.35	13.0	85	1.47	80				
1.40	1.45	11.2	72	1.57	70				
1.50	1.56	9.70	63	1.68	60				
1.60	1.66	8.54	56	1.78	55				
1.70	1.76	7.57	49	1.88	48				
1.80	1.86	6.76	44	1.98	43				
1.90	1.96	6.05	40	2.08	39				
2.00	2.06	5.47	36	2.18	35				

TABLA XIV

Alambre esmaltado con una capa de seda		Alambre desnudo con dos capas de seda		Alambre desnudo con una capa algodón		ALAMBRE DESNUDO CON DOS CAPAS DE ALGODON					
Diámetro total aprox. mm.	Cantidad aprox. metros/kg.	Diámetro total aprox. mm.	Cantidad aprox. metros/kg.	Diámetro total aprox. mm.	Cantidad aprox. metros/kg.	Diámetro total aprox. mm.	Cantidad aprox. metros kg.	Diámetro del alambre desnudo mm.	Diámetro total aprox. mm.	Resistencia aprox. ohms/km.	Cantidad aprox. metros/kg.
0.11	37600	0.09	45700					1.90	2.14	6.05	38
0.12	28100	0.10	32900					2.00	2.24	5.47	35
0.13	21800	0.11	24900					2.10	2.34	4.96	32
0.14	17300	0.12	19400					2.20	2.44	4.52	29
								2.30	2.54	4.13	26
0.15	14100	0.13	15600	0.18	11200			2.40	2.64	3.79	24
0.16	11550	0.14	12900	0.19	9500	0.26	8400	2.50	2.74	3.51	22
0.17	10000	0.15	10700	0.20	8200	0.27	7300	2.60	2.84	3.24	21
0.18	8600	0.16	9050	0.21	7000	0.28	6440	2.70	2.94	3.00	19
0.19	7500	0.17	7900	0.22	6200	0.29	5700	2.80	3.04	2.79	18
0.20	6500	0.18	6800	0.23	5500	0.30	5100	2.90	3.14	2.60	17
0.21	5700	0.19	5900	0.24	4850	0.31	4500	3.00	3.24	2.43	16
0.22	5050	0.20	5250	0.25	4400	0.32	4090	3.10	3.34	2.26	15
0.23	4500	0.21	4700	0.26	3900	0.33	3700	3.20	3.44	2.13	14
0.24	4050	0.22	4150	0.27	3500	0.34	3350	3.30	3.54	2.00	13
0.25	3700	0.23	3750	0.29	3200	0.35	3050	3.40	3.64	1.89	12
0.26	3300							3.50	3.74	1.78	11
0.28	2700	0.24	3400	0.34	2050	0.38	2750	3.60	3.84	1.69	10.5
0.31	2150			0.39	1470	0.43	1850	3.70	3.94	1.60	10
0.34	1800	0.29	2200					3.80	4.04	1.52	9.8
0.37	1500	0.35	1550	0.44	1100	0.48	1350	3.90	4.14	1.44	9.3
0.40	1300							4.00	4.24	1.37	8.8
0.42	1100	0.40	1150	0.49	840	0.53	1020	4.10	4.34	1.30	8.4
0.45	1020			0.54	670	0.58	790	4.20	4.44	1.24	8.0
0.47	850	0.45	870					4.30	4.54	1.18	7.6
0.52	680	0.50	690	0.60	540	0.63	640	4.40	4.64	1.13	7.3
0.59	550	0.57	560	0.65	450	0.70	520	4.50	4.74	1.08	7.0
0.64	450	0.62	460	0.70	380	0.75	430	4.60	4.84	1.03	6.7
0.69	380	0.67	390	0.75	330	0.80	365	4.70	4.94	0.99	6.4
0.74	330	0.72	330	0.80	280	0.85	310	4.80	5.04	0.94	6.1
0.80	280	0.77	290	0.85	250	0.90	270	4.90	5.14	0.91	5.9
0.85	250	0.82	250	0.90	220	0.95	235	5.00	5.24	0.88	5.6
0.90	220	0.87	220	0.95	190	1.00	210				
0.95	190	0.92	200	1.00	170	1.05	185				
1.00	170	0.97	170	1.05	155	1.10	170				
1.05	155	1.02	155	1.12	140	1.15	150				
1.10	140	1.07	140	1.22	120	1.24	135				
1.20	120	1.17	120	1.32	100	1.34	115				
1.30	100	1.27	100	1.42	85	1.44	95				
				1.52	70	1.54	80				
				1.62	60	1.64	70				
				1.72	55	1.74	60				
				1.82	50	1.84	55				
				1.92	45	1.94	48				
				2.02	40	2.04	43				
				2.12	35						

capa. Como el secundario N.º 2 necesita dos bobinados de 2025 espiras, resultará un total de 4050 espiras, por lo cual el número de capas que ocupará dicho bobinado es de $\frac{4050}{254} = 16$ capas. La altura del bobinado en cuestión es de: $0,13 \times 16 = 2,08$ mms. de altura.

Calculemos ahora el secundario N.º 1, pues éste irá bobinado sobre el secundario N.º 2. El alambre 0,70 mms. de diámetro con esmalte tiene un espesor de 0,74 mms., de manera que si el ancho del bobinado es de 33 mms., el número de espiras por capa es de $\frac{33}{0,70} = 47$ espiras por capa. Como el número de espiras que dicho bobinado requiere es de 57 espiras, resultará que dicho bobinado ocupa más de una capa, es decir, que ocupará dos capas, una de las cuales solamente llevará diez espiras. De cualquier manera, deberemos computar la altura total de dicho bobinado como dos capas, de manera que si el espesor de una capa es de 0,74 mms., el total sería de $0,74 \times 2 = 1,48$ mms. de altura.

Por último, nos queda el bobinado secundario N.º 3, cuyo espesor de alambre es de 0,90 mms. Como el ancho de la bobina es de 33 mms., resultará que el número de espiras por capa será $\frac{33}{0,94} = 35$ espiras por capa. Por lo tanto, este bobinado ocupará, como el anterior, dos capas, pues este bobinado está formado por 45 espiras. La altura de la bobina es de $0,94 \times 2 = 1,88$ mms.

Resumamos en un cuadro todos los valores calculados.

Primario	132 esp./capa	— 15 c.	— 3,75 mms. de altura
Secundario N.º 2	254 " "	— 16 c.	— 2,08 " " "
Secundario N.º 1	47 " "	— 2 c.	— 1,48 " " "
Secundario N.º 3	35 " "	— 2 c.	— 1,88 " " "

ALTURA TOTAL DE TODOS LOS BOBINADOS: 9,19 mms. de altura

Esta es la altura neta del bobinado, pues debemos recordar a los alumnos que entre cada capa del bobinado se aísla con una capa de papel aislante para evitar cortos circuitos entre las espiras de una capa con la otra. Este papel deberá ser del mismo ancho del carrete sobre el cual se bobinará (no del ancho de la bobina).

El tipo de papel, tanto en la calidad como en el espesor, depende de la diferencia de potencial que existe entre capas, como es natural.

Cuando se emplean alambres de poco espesor, se puede utilizar papel muy delgado del tipo transparente. Para el primario y el secundario de alta tensión se acostumbra a emplear papel de 0,05 mms. de espesor, puesto que,

además, la tensión entre capas es de $\frac{132}{9} = 14,7$ V. Como se aíslan todas las

capas del primario y secundario, resulta que entre los bobinados suman 31 capas; por lo tanto, se necesitarán 31 capas de papel que sumarían una altura de $31 \times 0,05$ mms. Además, debemos agregar a la altura calculada, el espesor del carrete que, además de servirnos para soporte del bobinado, puesto que bobinamos sobre él, nos sirve para aislar el primario del núcleo. El espesor que puede darse al carrete es de 0,5 mms. El carrete podría ser un cartón prespán, especial para estos usos. Queda ahora por tratar el espesor de la aislación que se empleará para aislar el bobinado primario con el secundario y secundarios entre sí. Para aislar dichos bobinados, podríamos emplear cartón prespán de 0,10 mms. de espesor. De manera que precisamos

una capa de papel entre el primario y el secundario N.º 2; otra entre este bobinado y el secundario N.º 1, y otro entre éste y el secundario N.º 3, que sumados a otra capa de cartón que cubriría todo el bobinado, sumarían cuatro capas de papel prespán de 0,10 mms. de espesor, o sea en total 0,40 mms., que, sumadas éstas al espesor del carrete, se obtendría el valor de:

Carrete de prespán	0,50 mm.
Papel de 0,05 mms.	1,55 "
Capas de prespán 0,10 mms.	0,40 "

lo que sería un total de 2,45 mms. correspondientes a la altura ocupada por el aislante de todas las capas.

Si a este valor le sumamos la altura ocupada por el bobinado, obtendríamos la altura real del bobinado y cuyo valor necesitamos saber, es decir, que $9,19 + 2,45 = 11,64$ mms., que es la altura efectiva del bobinado.

Calculado este valor, nos será muy fácil averiguar si el carrete con sus bobinas podrá caber en el espacio del transformador.

Como el ancho del espacio B de la laminación es de 1,25 cms., es decir, 12,5 mms., podremos saber si el bobinado cabe, con sólo hallar el porcentaje del espacio ocupado por éste, en la laminación. El valor calculado de esta manera no debe ser superior al 90 o/o del valor del ancho de la ventanilla de la laminación, que en nuestro caso debería ser el 90 o/o de 12,5. Veamos, pues, cómo resultará nuestro transformador. El porcentaje se halla dividiendo el valor calculado por el valor de la ventanilla indicado para la laminación, en la Tabla XI. Si el valor calculado es de 11,64 y 12,25 el valor

$$\frac{11,64}{12,25}$$

del ancho de la ventanilla, resultará que $\frac{11,64}{12,25} = 0,952$; si este valor

lo multiplicamos por 100, nos dará el porcentaje que buscamos. Por lo tanto, $0,952 \times 100 = 95,2$ o/o.

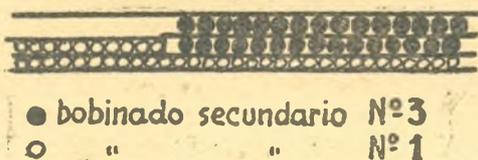


Fig. 235

Este valor calculado nos indica que no es posible construir el transformador en las condiciones propuestas.

Como en algunos casos no es posible utilizar un núcleo de mayores dimensiones, habrá que buscar la manera de reducir el espacio ocupado por el bobinado a fin de que el porcentaje de 95,2 o/o sea reducido por debajo del 90 o/o, en cuyo caso sería posible la construcción del transformador.

Veamos cómo podríamos reducir el espacio del bobinado. Si se recuerda el proceso del cálculo de las capas por bobinado, vimos que el secundario N.º 1 ocupaba una capa para sólo 10 espiras, y lo mismo sucedía en el secundario N.º 3. Si bobinásemos estos secundarios de acuerdo a la figura 235, podríamos reducir en una capa de alambre grueso el espacio del bobinado total. Veamos entonces, en qué espesor es posible reducir el tamaño del bobinado. Según puede verse en la figura, podríamos considerar, como si tuviéramos una capa del secundario N.º 1 y dos del secundario N.º 3; por lo tanto, reducimos la altura del bobinado en un espesor de $0,74 + 0,10 = 0,84$ mms. (0,74 mms. espesor del alambre, 0,10 espesor de la aislación). Por lo tanto, al valor calculado debemos reducirle 0,84 mms., es decir, que $11,64 - 0,84$

$$10,80$$

$= 10,80$ mms.; por lo tanto, el porcentaje sería $\frac{10,80}{12,28} = 0,882$, es decir,

$$12,28$$

USO - Rectificador - 29 Watt.

Fecha: _____

Transf. N.º 65

Laminación "T". sección 2,54 x 2,54 cm.

Impregnación: Cera Virgen

	Volts.	Amp.	Diámetro alambre	Tipo	N.º esp.	Espiras por capa	Aislación	mm.	Aislación entre	OBSERVACIONES
Primario	220	0,132	0,23	ES	1966	132	Papel	0,05	Prespan 0,1	Ver detalle de los bobinados N° 1 y N° 3.
Secundario	2 × 225	0,028	0,11	ES	2 × 2025	254	Papel	0,05	Prespan 0,1	
”	6,3	1,2	0,70	ES	57	47	Prespan.	0,10	Prespan 0,1	
”	5	2	0,90	ES	45	35	Prespan.	0,10	Prespan 0,1	

Fig. 236

NOTAS Y DIBUJOS

que multiplicado por 100 serían 88,2 o/o, es decir, que podemos, gracias al cambio introducido en la disposición de los bobinados, construir el transformador calculado. Por lo tanto, conviene, para que el lector vaya familiarizándose con esta clase de cálculos, confeccionar una tabla de tal manera que le permita ir colocando en ella los valores. Esta disposición se puede ver en la figura 236.

Si el transformador calculado tuviese que trabajar en redes de canalización de corriente alternada de 110 V., se calcularía de la misma manera que el que hemos calculado en esta lección; por lo tanto, el lector notará que la intensidad de la corriente en el secundario es doble que para el caso de trabajar con 220 V., y que el número de espiras en el primario también será la mitad, por lo tanto la sección del alambre sería doble.

Pero como la relación de vueltas, o sea la relación entre el número de vueltas del primario y el voltaje, será exactamente el mismo, los bobinados secundarios serán exactamente iguales a los que han sido calculados.

Daremos a continuación un pequeño resumen del cálculo de los transformadores, de manera que el lector pueda emplearlo como guía en lo sucesivo, ya que hemos indicado la forma de calcular transformadores en base a un ejemplo extenso. Por lo tanto, el cálculo se hará de la siguiente manera:

1.º — Averiguar la sección de la laminación que se empleará en el proyecto en base al consumo de energía eléctrica en el primario. Para lo cual se suman las potencias eléctricas que absorben los bobinados secundarios. A este consumo se le aumenta el 20 o/o por las pérdidas. Si se conoce la potencia que deberá consumir el primario, para determinadas cargas en el secundario, se consulta la figura 229. Esta curva da el valor de la sección del núcleo en función del consumo del primario.

2.º — Una vez calculada la sección del núcleo, se busca dicho valor en la Tabla XI, en la cual se dan todos los valores de las laminaciones usuales, ya que de dicha tabla obtenemos los valores del núcleo para una determinada sección.

3.º — Cálculo del número de espiras del primario por medio de la fórmula 68 y luego conocido dicho valor, calcular la relación entre el número de espiras y el voltaje del primario, a fin de poder calcular el número de espiras de los secundarios. Si se empleara el Abaco N.º 16, se podrá calcular directamente el número de espiras por Volt del primario; por lo tanto, si se desea conocer el número de espiras del primario, calculado por medio del Abaco, habrá que multiplicar el número resultante por el voltaje deseado, como si fuera un bobinado secundario.

Como para este cálculo se necesita saber el valor de B, o sea la inducción en el hierro (núcleo), tendremos que elegir el tipo de hierro, según la aplicación dada al transformador, y recurriendo a la Tabla XIII.

4.º — Se calcula el número de espiras que corresponderá a cada bobinado.

5.º — Luego se calcula el diámetro de los alambres de cada bobinado de acuerdo al uso que se le dé al transformador (si se empleara alambre del tipo Americano (BBS) o Inglés (S.W.G.), podrán emplear la TABLA XV que da los valores en milímetros a pulgadas, o viceversa).

6.º — Conocido el tamaño de los alambres de los bobinados, habrá que calcular el número de espiras por capa de cada bobinado. Para lo cual habrá que conocer el ancho del bobinado (Tabla XI).

7.º — Se calcula la altura de cada bobinado y se las suma para conocer cuál es la altura de todos superpuestos.

8.º — Se elige el tipo de papel aislante entre capas y se calcula la altura debida a las mismas y se le suma el espesor del carrete sobre el cual

se bobinará, y además la última capa de aislante que servirá para cubrir el transformador.

Esta altura calculada se sumará a la altura total de los bobinados.

9.º — Calculados estos valores, se estará en condiciones de calcular el porcentaje que nos dará a conocer si es o no realizable el transformador de acuerdo a los cálculos efectuados, o si habrá que aumentar la sección del núcleo para reducir la relación de espiras por Volt, etc.

En la Lección 52a. se darán a conocer los métodos de construcción de los transformadores del tipo empleado en la radiotécnica.

TABLA XV

Medida N.º	S. W. G. (inglés)		B. & S. (americano)		Medida N.º	S. W. G. (inglés)		B. & S. (americano)	
	DIAMETRO		DIAMETRO			DIAMETRO		DIAMETRO	
	pulgadas	milímetros	pulgadas	milímetros		pulgadas	milímetros	pulgadas	milímetros
0000000	0,5000	12,70	—	—	24	0,0220	0,5588	0,0201	0,5106
0000000	0,4640	11,79	—	—	25	0,0200	0,5080	0,0179	0,4547
00000	0,4320	10,97	—	—	26	0,0180	0,4572	0,0159	0,4049
0000	0,4000	10,16	0,460	11,68	27	0,0164	0,4166	0,0142	0,3606
000	0,3720	9,449	0,410	10,40	28	0,0148	0,3759	0,0126	0,3211
00	0,3480	8,839	0,365	9,266	29	0,0136	0,3454	0,0113	0,2859
0	0,3240	8,230	0,325	8,251	30	0,0124	0,3150	0,0100	0,2546
1	0,3000	7,620	0,289	7,344	31	0,0116	0,2946	0,0089	0,2268
2	0,2760	7,010	0,258	6,544	32	0,0108	0,2743	0,0080	0,2019
3	0,2520	6,401	0,229	5,827	33	0,0100	0,2540	0,0071	0,1798
4	0,2320	5,893	0,204	5,189	34	0,0092	0,2337	0,0063	0,1601
5	0,2120	5,385	0,182	4,621	35	0,0084	0,2134	0,0056	0,1426
6	0,1920	4,877	0,162	4,115	36	0,0076	0,1930	0,0050	0,1270
7	0,1760	4,470	0,144	3,665	37	0,0068	0,1727	0,0045	0,1131
8	0,1600	4,064	0,128	3,264	38	0,0060	0,1524	0,0040	0,1007
9	0,1440	3,658	0,114	2,906	39	0,0052	0,1321	0,0035	0,08969
10	0,1280	3,251	0,102	2,588	40	0,0048	0,1219	0,0031	0,07987
11	0,1160	2,946	0,091	2,305	41	0,0044	0,1118	0,0028	0,07113
12	0,1040	2,642	0,081	2,053	42	0,0040	0,1016	0,0025	0,06334
13	0,0920	2,337	0,072	1,828	43	0,0036	0,0914	0,0022	0,05629
14	0,0800	2,032	0,064	1,628	44	0,0032	0,0813	0,0020	0,05043
15	0,0720	1,829	0,057	1,450	45	0,0028	0,0711	0,0018	0,04473
16	0,0640	1,626	0,051	1,291	46	0,0024	0,0610	0,0016	0,03984
17	0,0560	1,422	0,045	1,150	47	0,0020	0,0508	0,0014	0,03547
18	0,0480	1,219	0,040	1,024	48	0,0016	0,0406	0,0012	0,03159
19	0,0400	1,016	0,036	0,9116	49	0,0012	0,0305	0,0011	0,02813
20	0,0360	0,9144	0,032	0,8188	50	0,0010	0,0254	0,0010	0,02505
21	0,0320	0,8128	0,0285	0,7229					
22	0,0280	0,7112	0,0253	0,6438					
23	0,0240	0,6096	0,0226	0,5733					

48a. LECCION

Diseño completo de un circuito resonante teniendo en cuenta los valores óptimos del diámetro de los conductores en alta frecuencia y su resistencia.

En lecciones anteriores habíamos visto cómo se comportaba un circuito sintonizado y cómo se podían calcular los valores, que cada elemento debería tener para un rango de frecuencias dadas. Nos ocuparemos en esta lección de la forma de obtener los mejores valores que constituyen los bobinados de las inductancias, puesto que es la parte más delicada de los circuitos y, sobre todo, porque sobre ellos pesa, en gran parte, la responsabilidad del rendimiento del circuito sintonizado.

Habíamos visto en la Lección 44a. cuál era el método a seguir para conocer la calidad de la inductancia. Por esta razón nos ocuparemos ahora de cómo es posible obtener el mejor valor para condiciones determinadas de trabajo. Decimos condiciones determinadas de trabajo, porque en la práctica no es posible emplear los valores y dimensiones de inductancia que aconseja la teoría, porque no sería posible emplear en los receptores inductancias de grandes diámetros. Por lo tanto, nos tenemos que circunscribir a las posibilidades del espacio destinado a los circuitos sintonizados en los receptores. Es por esta razón que se hace difícil, en cierto modo, arribar a un valor óptimo por tanteos. Para que nuestros alumnos puedan resolver estos problemas, un tanto complejos, hemos buscado la forma de encadenar varios Abacos a fin de hacer posible diseñar una inductancia en sus valores óptimos, en pocos minutos, y para condiciones determinadas de trabajo. Esto quiere decir que solamente es posible un valor óptimo para cada condición de trabajo (dimensiones de la inductancia y tipo de conductor empleado en la inductancia).

Antes de ir al cálculo por medio de los Abacos, daremos a conocer el Abaco N.º 17, que nos permite calcular las inductancias del tipo de choque o bobinado universal, como también inductancias que están bobinadas en varias capas superpuestas. Los valores que es posible obtener con dicho Abaco son bastante aproximados; por lo tanto, indicaremos a continuación la manera de emplearlo. Si tenemos una inductancia cuya medida se indica en la figura 237, del tipo de bobinado universal, podemos calcular su inductancia de la manera siguiente: por lo pronto, hemos bobinado dicha inductancia; por lo tanto, conocemos la cantidad de espiras de la misma, supongamos, $N = 95$ espiras.

Observemos el Abaco N.º 17: Vemos que está formado por tres escalas, donde la de la izquierda nos da los valores de inductancia. A la derecha, la relación entre el ancho del bobinado (l) y el diámetro medio (D), en nues-

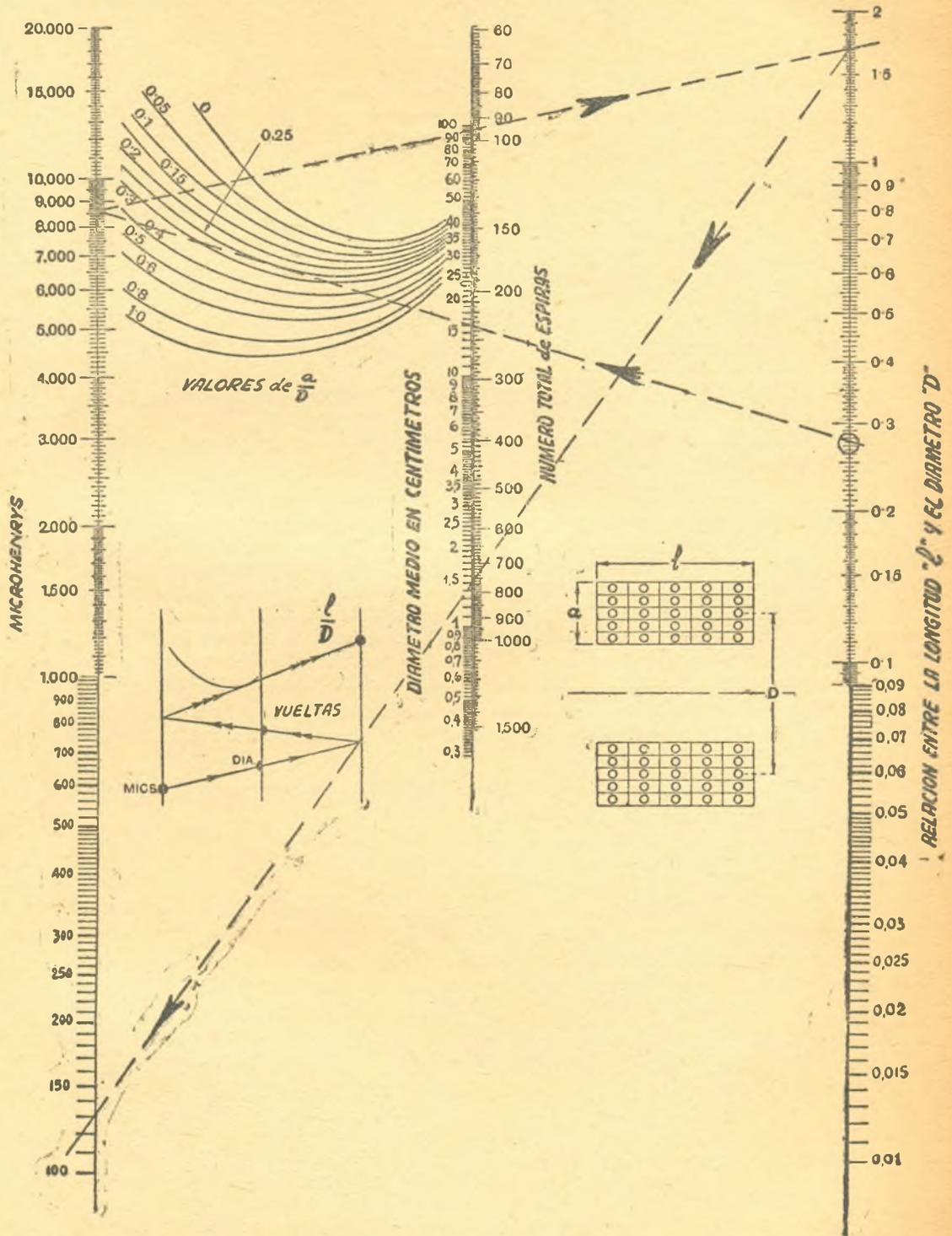
$$\text{tro caso } \frac{l}{D} = \frac{0,4}{1,45} = 0,276.$$

En la escala del centro tenemos a la izquierda, de la misma, los valores del diámetro medio de la inductancia, y a la derecha la cantidad de las espiras que tiene la inductancia. Además, vemos en la parte superior y a la izquierda una cantidad de curvas que intervienen en el cálculo y que depende de la relación entre la altura del bobinado sobre el tubo (a) y el

$$\text{diámetro medio de la inductancia, que en nuestro caso es: } \frac{a}{D} = \frac{0,35}{1,45} = 0,241.$$

ABACO N.º 17

Cálculo de inductancia



Ahora que conocemos el Abaco N.º 17, veamos cómo podremos calcular la inductancia, cuyas medidas damos en la figura 237. Hemos calculado la relación entre el ancho del bobinado y el diámetro medio $\frac{l}{D} = 0,276$; por lo tanto, marquemos con un punto dicho valor en la escala de la derecha.

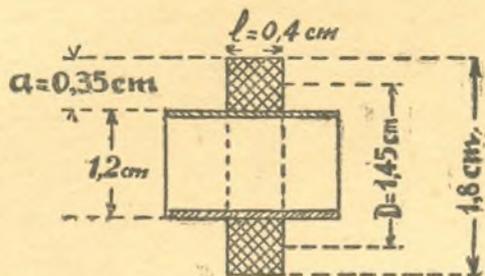


Fig. 237

Desde este punto tendremos que trazar una tangente a una de las curvas de relación $\frac{a}{D}$ y que habíamos calculado 0,241, de manera que la curva que emplearemos será la indicada con el valor 0,25, porque es el que más se aproxima al valor calculado. Tracemos la recta tangente a la curva de valor 0,25, desde el punto marcado anteriormente. Si prolongamos dicha recta hasta cortar la escala de la derecha, la recta cortará a la escala en un punto determinado.

Si este punto lo unimos con otra recta al punto que corresponde, sobre la escala de número de espiras, 95, y prolongamos dicha recta, ésta cortará a la escala de la derecha. Si este punto así determinado lo unimos con otro de la escala de diámetros medios y que corresponde al de nuestra bobina 1,45 y prolongamos hasta cortar la escala de inductancias, hallaremos el valor correspondiente a la inductancia de nuestra bobina, o sea 130 μh .

El empleo del Abaco, cuyo manejo acabamos de explicar, junto con el Abaco N.º 5, nos permite calcular cualquier tipo de inductancia de bobinados en tubos redondos.

Veamos cómo es posible calcular el diámetro óptimo que deberá tener la bobina para que el rendimiento sea máximo.

Como primer paso se emplea el Abaco N.º 18 que nos permite calcular el valor P^2 , que es un valor que se calcula por medio de la fórmula 69.

$$P^2 = \frac{L \times S^2}{D^3} \dots\dots\dots (69)$$

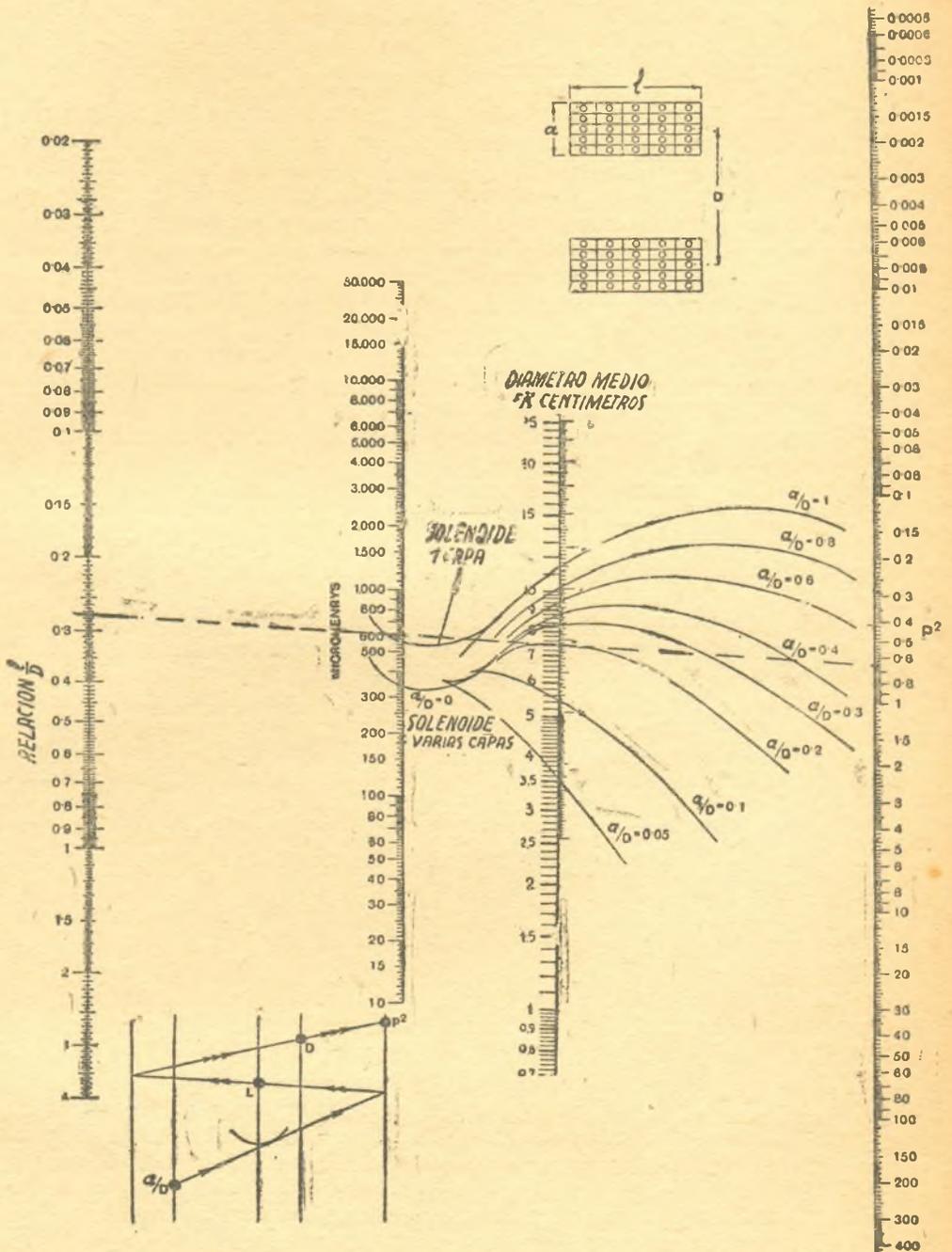
Esta fórmula 69 es un poco complicada para nuestros lectores; por esta razón resulta más fácil emplear el Abaco N.º 18. En la fórmula dada a conocer, L es la inductancia de la bobina, en microhenrys; S , es un factor de forma de la bobina y que depende de dos relaciones, a saber: $\frac{l}{D}$ (entre el ancho de la inductancia y el diámetro medio de la misma) y de $\frac{a}{D}$ (es decir, relación entre la altura del bobinado y el diámetro medio). D , es el diámetro medio de la inductancia.

Por lo que antecede, el lector podrá darse cuenta de que resultaría complicado calcular la cantidad P^2 empleando la fórmula 69, pero que la damos

ABACO N.º 18

Cálculo del valor P^2 para alambres sólidos

LINEA de REFERENCIA



a conocer para que el estudiante vaya conociendo las fórmulas más importantes.

El Abaco N.º 18 sirve para calcular la cantidad P^2 para inductancias de alambre sólido, vale decir, conductor de cobre de un solo hilo.

Veamos cómo se puede calcular con el mismo: supongamos que tenemos la inductancia propuesta en la figura 237 y cuyo valor, según el Abaco número 17, es de $L = 130 \mu\text{h}$. Veamos cuáles son los valores que conocemos y que podemos fijar en las escalas respectivas del Abaco N.º 18. La escala de la izquierda es para los valores que da la relación entre el largo del bobinado

y el diámetro medio, que para nuestro caso es $\frac{l}{D} = 0,276$; por lo

tanto nos conviene fijar ya el valor en la escala correspondiente. En el medio del Abaco tenemos dos escalas: una para los valores de inductancia y otra, más a la derecha, para los valores del diámetro medio de la bobina. Fijemos en ambos los valores correspondientes, es decir, $L = 130 \mu\text{h}$ y $D = 1,45 \text{ cms}$. Estamos ahora en condiciones de calcular el valor P^2 . Calculemos de la siguiente manera: desde el punto cuyo valor nos da la relación entre el ancho del bobinado y su diámetro, trazamos una recta tangente a una de las curvas que vemos en el centro del Abaco N.º 18. La curva que usaremos de referencia será la que dice varias capas, porque la inductancia que nos ocupa es de ese tipo; si fuese de una sola capa, es decir, del tipo solenoide, se emplearía como curva de referencia la indicada para solenoides de una sola capa.

Las curvas que estamos viendo son distintas para distintos valores de la relación $\frac{a}{D}$ y que en nuestro caso es la indicada con el valor 0,2 puesto

que la relación que corresponde a nuestra inductancia es de $\frac{a}{D} = 0,241$

y es más próximo a 0,2 que a 0,3. Por lo tanto, tracemos la recta que parte de la escala de la izquierda del Abaco 18, y tangente a la curva indicada con el valor 0,2 y prolonguémosla hasta que corte la escala que da los valores P^2 , pero que en este caso sólo nos sirve como línea de referencia. Desde el punto hallado en la escala de P^2 tracemos una recta entre dicho punto y el que da el valor de la inductancia de la bobina, prolongándola hasta que corte a la línea de referencia que está a la izquierda del Abaco. Desde el punto hallado sobre la línea de referencia tracemos una recta que pase por los valores de los diámetros medios de la bobina y prolonguemos ésta hasta que corte la escala P^2 y que es finalmente el valor que estamos buscando, es decir, un valor aproximado de $P^2 = 21$.

Para calcular ahora el diámetro óptimo del alambre que emplearemos en la construcción de la inductancia, deberemos emplear el Abaco N.º 19 o el N.º 20.

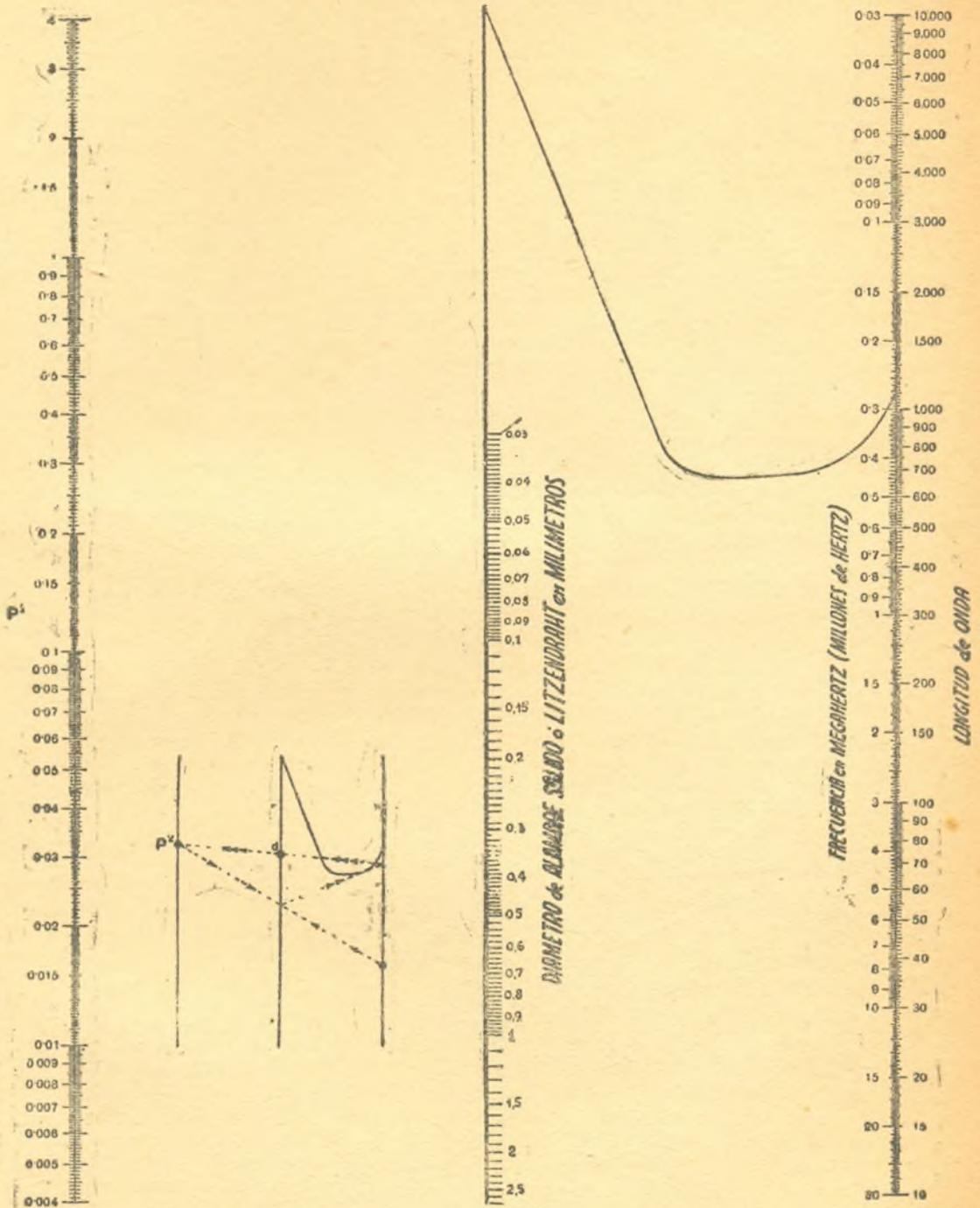
Se empleará el Abaco N.º 19 cuando los valores de P^2 calculados estén comprendidos entre 0,004 y 4. Se empleará el Abaco N.º 20 cuando los valores de P^2 calculados estén comprendidos entre 4 y 4000.

Antes de calcular los diámetros óptimos, veamos cómo se calcularía el valor de P^2 cuando el conductor que se emplea para la inductancia, en lugar de ser de alambre sólido, fuese del tipo Litzendraht. Si la inductancia cuyo valor P^2 calculamos por medio del Abaco N.º 18 nos da un valor de 21, resultará que tendremos que corregir este valor por medio del Abaco N.º 21 si empleamos alambre Litzendraht (varios hilos aislados) y que se emplea de una manera muy sencilla. Si se observa el Abaco N.º 21 se verá que hay una escala que da valores de P^2 y que son los valores obtenidos con el Abaco N.º 18; luego, a la derecha del mismo Abaco, existen tres columnas cuyos valores corresponden a distintos tipos de alam-

ABACO N.º 19

Cálculo del diámetro óptimo

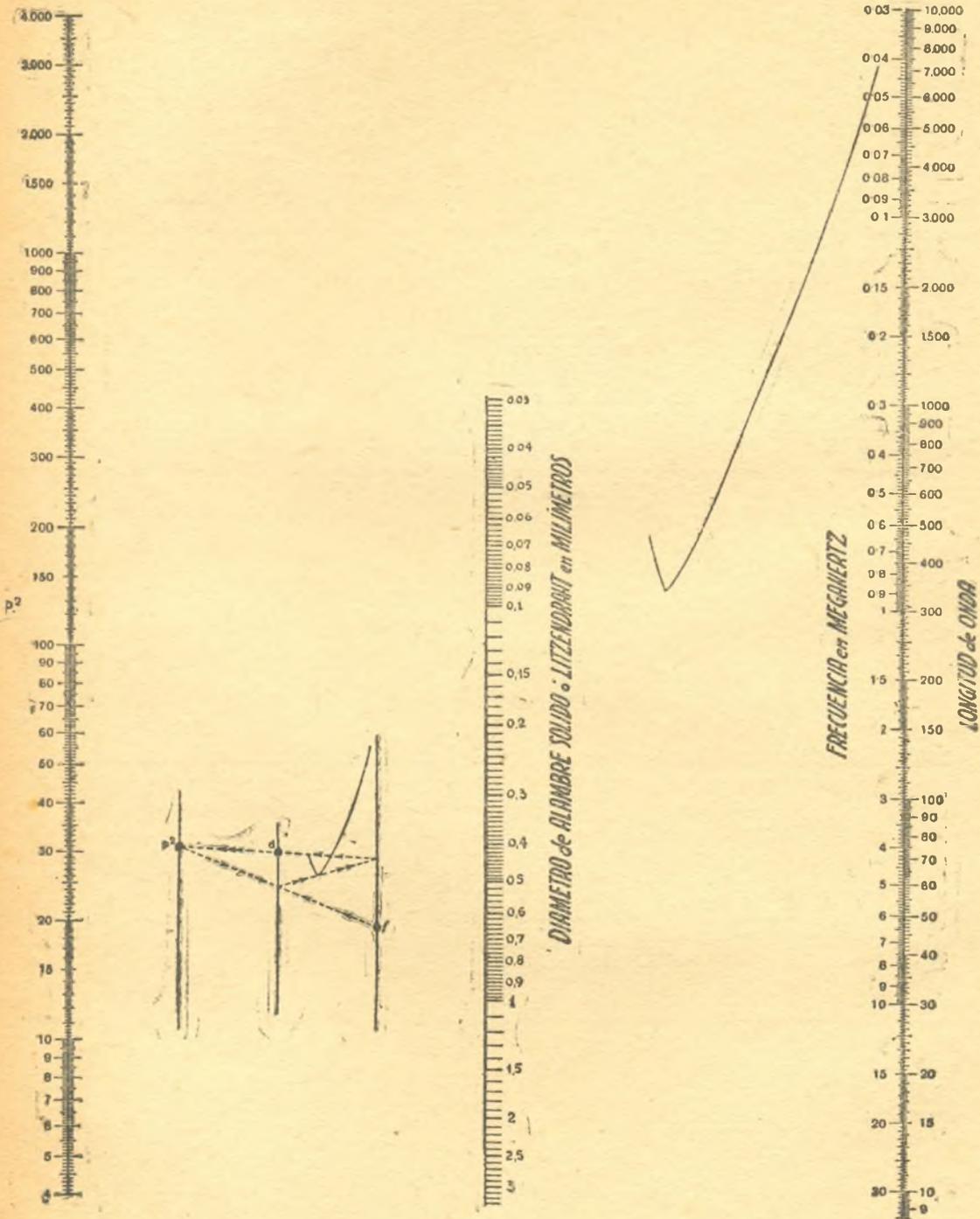
Para valores P^2 comprendidos entre: 0.004 y 4



ABACO N.º 20

Cálculo del diámetro óptimo

Para valores de P^2 comprendidos entre: 4 y 4000



bre Litzendraht, según sea el número de conductores que dicho alambre contenga.

Las curvas que se ven en el centro del Abaco son las que se emplearán como curvas de referencia para obtener el valor real de P^2 para el alambre Litzendraht, como veremos en seguida. Supongamos que en la inductancia que estamos empleando de ejemplo, queremos emplear alambre Litzendraht. Como el valor de P^2 calculado es de 21, llevaremos dicho valor a la escala correspondiente. Vemos que en dicha escala no existe dicho valor, sino que solamente cuando los valores son hasta de $P^2 = 4$. Esto nos indica que el empleo de alambre Litzendraht no nos reportará ninguna ventaja y por lo tanto podremos calcular el valor del diámetro óptimo directamente por medio de los Abacos Nros. 19 ó 20. Pero supongamos que el valor de P^2 que nos ha dado el Abaco N.º 18 es de 0,3 y que es de 9 hilos el tipo de Litzendraht que emplearemos. Si fijamos en la escala de P^2 el valor de 0,3 y desde este punto trazamos una tangente a la curva indicada como 9 hilos y prolongando dicha recta hasta cortar la escala indicada por 9 hilos, hallaremos el valor de P^2 que corresponde en realidad, y no el calculado para alambre sólido. Es decir, en este ejemplo P^2 sería igual a 27,5. Estos Abacos fueron trazados para alambres Litzendraht de 3, 9 y 27 hilos, de manera que en algunos casos en que se emplean alambres de 7 ó 15 hilos no podremos calcularlos. Pero podremos adoptar un sistema tal que, aunque no es correcto del todo nos dará, en cambio, un valor bastante aproximado. Se puede proceder de la siguiente manera: Si el alambre empleado es de 7 hilos, por ejemplo, se calcula el valor de P^2 para el caso de 27 hilos y luego como para 9; luego los dos valores calculados se suman y se dividen por dos, es decir, que obtendríamos un valor medio de los valores dados en el Abaco. De la misma manera se procedería si se trata de calcular el valor de P^2 para el caso de alambre de 15 hilos, en cuyo caso se calcularía para 9 y 27 hilos y se tomaría el valor medio.

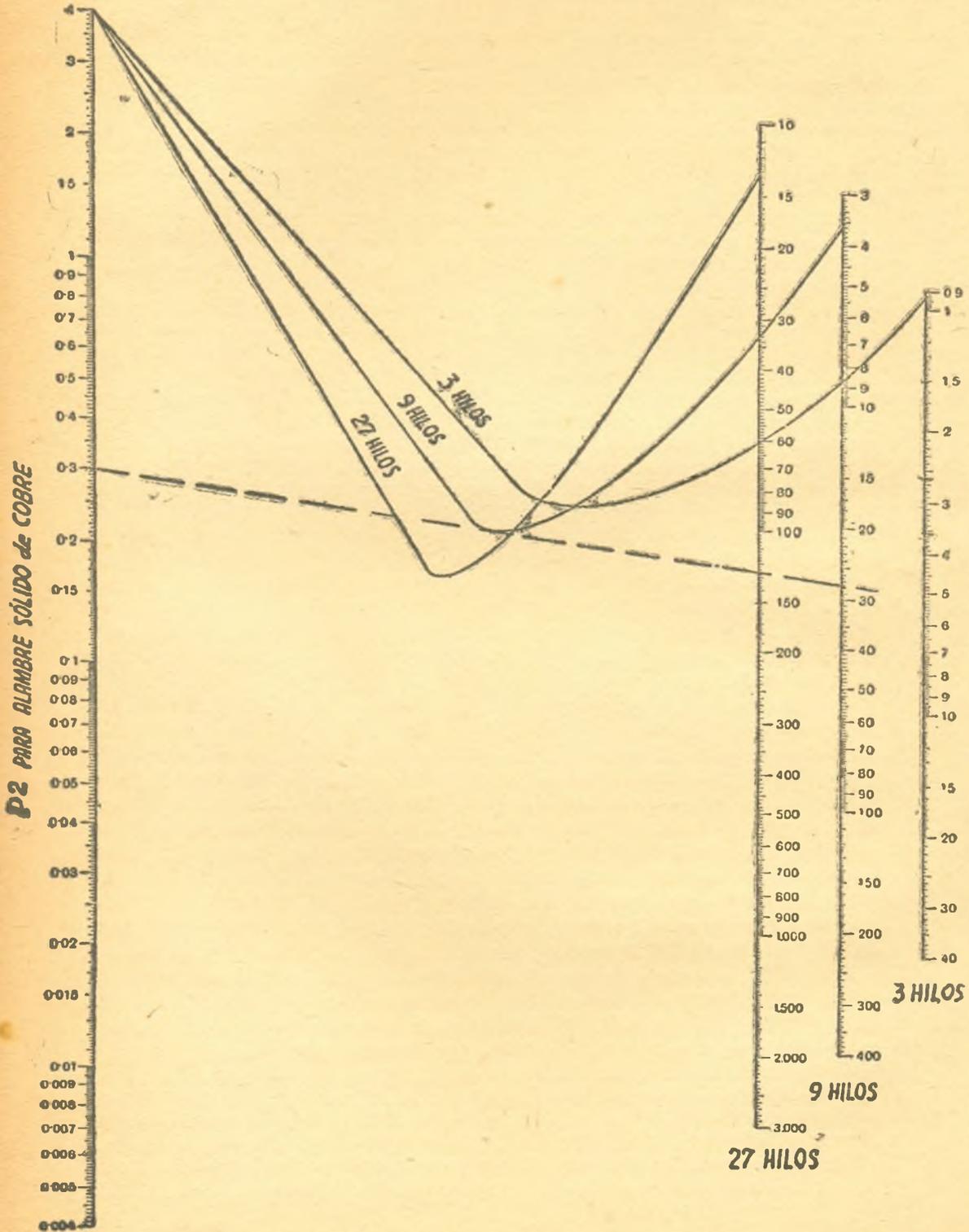
Calculemos ahora el diámetro óptimo de la inductancia de 130 μ h del ejemplo de esta lección. Calculamos para el valor de $P^2 = 21$. Luego podremos emplear el Abaco N.º 20, puesto que éste nos dará los valores de los diámetros óptimos para valores de P^2 comprendidos entre 4 y 4.000. Marquemos pues, en la escala correspondiente el valor $P^2 = 21$. Como es necesario saber en qué frecuencias trabajará la inductancia calculada nos será fácil calcular el diámetro que nos ocupa.

Supongamos que la inductancia trabajará en un circuito sintonizado tal que pueda resonar entre 550 Khz. y 1500 Khz.; podemos decir, pues, que la frecuencia media de trabajo es de 1000 Khz., (o sea 1 Megahertz). Llevando dicho valor a la escala correspondiente, o sea a la derecha del Abaco N.º 20, estaremos en condiciones de trazar una recta que una el valor de 21 indicado antes y el valor de frecuencia elegido. La recta trazada cortará a la escala del centro del Abaco en un punto que es un punto de referencia. Tracemos desde este punto de referencia una tangente a la curva del Abaco, hacia la derecha, de manera que, prolongada, corte a la escala de frecuencias. La nueva recta trazada corta, como dijimos, a la escala de frecuencias en un punto. Si desde este punto trazamos una recta que pase por el valor de P^2 calculado (21), haremos que la recta trazada corte a la escala del centro del Abaco en un punto determinado y que es justamente el valor del diámetro **OPTIMO DE LA INDUCTANCIA**. Es decir, que hemos calculado un diámetro óptimo de 0,12 mms., es decir, que podemos emplear, para construir la inductancia, un alambre de cobre de 0,12 mms. de diámetro.

Si el lector estuviese interesado en conocer el valor de la resistencia del conductor calculado, en altas frecuencias, podría hacerlo por medio de las fórmulas indicadas en la Lección 40a. Oportunamente daremos a conocer Abacos que permiten calcularse los valores de resistencia de la inductancia en altas frecuencias cuando el diámetro del conductor es óptimo.

ABACO N.º 21

Cálculos de P^2 para alambres del tipo Litzendraht



APENDICES

En la Cuarta Lección del curso de Radio se aplica la fórmula

$$F = \frac{m \times m'}{d^2} \quad (1)$$

que puede también escribirse de la siguiente forma:

$$F = \frac{m \times m'}{d \times d}$$

donde

F, es la fuerza de atracción o repulsión con la cual se atraen o repelen los polos de dos imanes, colocados frente a frente y a cierta distancia.

m y m' las masas magnéticas de los nombrados polos.

d la distancia que hay entre los mismos polos.

Para poder aplicar correctamente la fórmula (1), vamos a considerar los problemas que pueden presentarse.

PROBLEMA N.º 1

¿Qué fuerza ejerce un polo de 20 unidades, sobre otro de 15 unidades, si entre ellos hay una distancia de 10 cm.?

$$\begin{aligned} F &= \frac{m \times m'}{d^2} \\ &= \frac{20 \times 15}{10^2} \\ &= \frac{300}{100} \\ &= 3 \text{ dinas} \end{aligned}$$

PROBLEMA N.º 2

Un polo de 25 unidades actúa sobre otro polo, situado a 2 cm. de distancia, con una fuerza de 50 dinas. ¿Cuál es la intensidad del otro polo?

$$\begin{aligned} m &= \frac{F \times d^2}{m'} \\ &= \frac{50 \times 2^2}{25} \\ &= \frac{50 \times 4}{25} \\ &= \frac{200}{25} \\ &= 8 \text{ unidades de masa magnética.} \end{aligned}$$

PROBLEMA N.º 3

Los polos de dos imanes se atraen con una fuerza de 4 dinas. Se desea saber la distancia que los separa, siendo las intensidades respectivas 8 y 12,5 unidades.

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{m \times m'}{F}} \\ &= \sqrt{\frac{8 \times 12,5}{4}} \\ &= \sqrt{\frac{100}{4}} \\ &= \sqrt{25} \\ &= 5 \text{ centímetros} \end{aligned}$$

En todos los casos:
 F está expresado en dinas.
 m y m', en unidades de masa magnética.
 d, en centímetros.

Expresión algebraica de la ley de Ohm:

$$I = \frac{E}{R}$$

Esta fórmula expresa la relación que hay entre la intensidad de la corriente (I), la fuerza electromotriz (E) y la resistencia eléctrica (R).

Si, en un problema dado, nos indican el valor de dos de las variables de la fórmula, hallaremos el valor de la tercera; desde luego los problemas donde tenga aplicación la fórmula dada, se reducen a tres casos:

1.º — Dada la fuerza electromotriz y la resistencia.

Se aplicará la fórmula:

$$I = \frac{E}{R}$$

2.º — Dada la fuerza electromotriz y la intensidad.

Debe aplicarse la fórmula:

$$R = \frac{E}{I}$$

3.º — Dada la intensidad y la resistencia.

El problema se resuelve aplicando la fórmula:

$$E = I \times R$$

En todos los casos:

I, se expresa en Amperes.
 E, en voltios.
 R, en ohmios.

La fórmula:

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

nos permite hallar la superficie de un conductor cilíndrico (sección recta). Se procede de la siguiente forma:

- a) Determinése el diámetro del conductor (d) mediante un tornillo de palmer o calibrador.
- b) Sea, por ejemplo, 2,75 milímetros el diámetro hallado.
- c) Recuérdese que el valor de π (se lee, pi) es 3,1416. Este valor expresa la relación que hay entre la circunferencia y el diámetro de la misma, es decir, que para hallar la longitud de una circunferencia, basta multiplicar el valor del diámetro por 3,1416.
- d) Los números 3,1416 y 4 son constantes, es decir, no varían nunca dentro de la fórmula.

De acuerdo con lo que acabamos de decir, sustituyendo los valores en la fórmula, tendremos:

$$\begin{aligned} S &= \frac{3,1416 \times 2,75^2}{4} \\ &= \frac{3,1416 \times 2,75 \times 2,75}{4} \\ &= \frac{23,75835}{4} \\ &= 5,94 \text{ milímetros cuadrados.} \end{aligned}$$

Stempre:

S, es la superficie de la sección recta del conductor.
 d, el diámetro del mismo.

Téngase en cuenta que si expresamos el diámetro en milímetros, el resultado será en milímetros cuadrados; si el diámetro es tomado en centímetros, el resultado será en centímetros cuadrados; etc.

$$R_t = R_{15^\circ} [1 + C (t - 15^\circ)]$$

En la presente fórmula haremos notar solamente que cuando una cantidad está frente a un paréntesis (como R_{15° y C, en la fórmula considerada), debe entenderse que dicha cantidad multiplica a todas las cantidades contenidas dentro del paréntesis. Para hacer más fácil la resolución de operaciones como la indicada, resuélvase antes la operación contenida dentro del paréntesis y multiplíquese el resultado por la cantidad que afecta al paréntesis.

Para resolver las fórmulas 7 y 8 de la Lección XIV de Radio, procédase de la siguiente manera:

Fórmula N.º 7

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2}$$

- 1.º Multiplíquese los valores de r_1 y r_2 (producto que representa el numerador del segundo miembro de la fórmula).
- 2.º Hállese la suma de los mismos valores (suma que representa el denominador del segundo miembro de la fórmula).
- 3.º Divídase el producto del numerador por la suma del denominador.
- 4.º El cociente resultante es el valor de R.

Fórmula N. 8 —

$$R = \frac{r_1 \times r_2 \times r_3}{(r_1 \times r_2) + (r_1 \times r_3) + (r_2 \times r_3)}$$

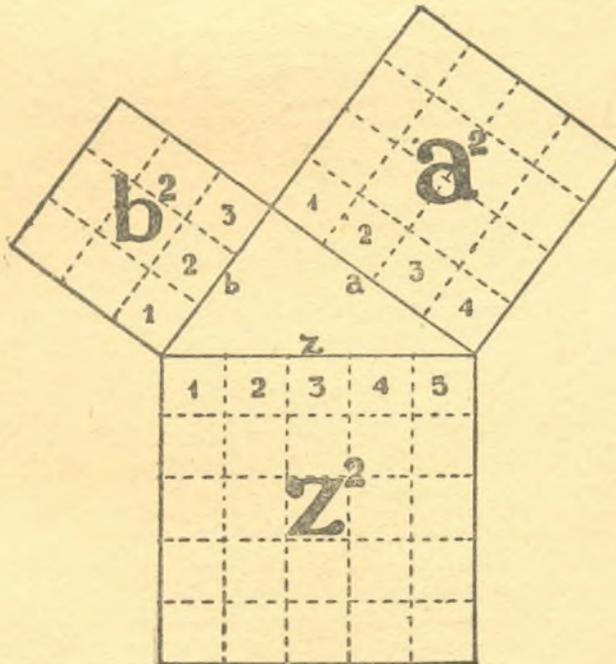
- 1.º Hállese el producto del numerador multiplicando el valor de r_1 por el de r_2 , y el resultado por el de r_3 .
- 2.º Hállese el producto (por separado), de cada cupla de valores contenidos en cada paréntesis.
- 3.º Súmese los resultados de los tres paréntesis que componen el denominador.
- 4.º Divídase el producto del numerador por la suma de los tres productos del denominador.
- 5.º El cociente obtenido es el valor de R.

TEOREMA DE PITAGORAS — RAZA CUADRADA

Enunciado. — La suma de las superficies de los cuadrados construidos sobre los catetos de un triángulo rectángulo es igual a la superficie del cuadrado construido sobre la hipotenusa del mismo triángulo.

$$z^2 = b^2 + a^2 \quad (1)$$

donde z^2 es la superficie del cuadrado construido sobre la hipotenusa z . De la misma manera b^2 y a^2 expresarían las superficies de los cuadrados construidos sobre



los catetos b y a . En la figura se tomó un triángulo rectángulo dándole a la hipotenusa 5 cm. de longitud; al cateto b , 3 cm.; al cateto a , 4 cm.

Si sustituimos estos valores en la expresión algebraica (1), tendremos:

$$5^2 = 3^2 + 4^2$$

y desarrollando los cuadrados

$$25 = 9 + 16$$

de donde

$$25 = 25$$

igualdad que se puede comprobar también gráficamente.

Puede comprobarse que el teorema es cierto para cualquier otro valor que tengan z , b y a , procediendo así:

- 1.º Constrúyase un ángulo recto.
- 2.º Córtese a los dos lados del ángulo recto construído con una recta. Resultará así un triángulo rectángulo.
- 3.º Mídase con la mayor precisión la longitud de cada uno de los lados del triángulo construído.
- 4.º Sustitúyanse los valores (expresados en centímetros y milímetros) en la igualdad (1). Efectuadas las operaciones, se comprobará el enunciado del teorema.

CALCULO DE LA HIPOTENUSA DEL TRIANGULO RECTANGULO CONOCIENDO LOS VALORES DE LOS CATETOS DEL MISMO

Aplicando el teorema de pitágoras tenemos:

$$Z^2 = a^2 + b^2 \quad (1)$$

donde z es la hipotenusa y a y b los catetos respectivos.

Para hallar el valor de z la fórmula (1) será

$$Z = \sqrt{a^2 + b^2}$$

La solución se hallará de la siguiente manera:

- 1.º Multiplíquese el valor de a por sí mismo.
- 2.º Hágase lo mismo con el valor b .
- 3.º Hállese la suma de los productos obtenidos.
- 4.º Extráigase la raíz cuadrada de dicha suma.

El resultado obtenido es el valor de z , es decir, de la hipotenusa del triángulo rectángulo dado.

COMO HALLAR EL VALOR DE UNO DE LOS CATETOS DEL TRIANGULO RECTANGULO

Para hallar el valor de uno cualquiera de los catetos del triángulo dado, se aplicará la misma fórmula (1).

El valor de cada uno está dado por:

$$a = \sqrt{Z^2 - b^2}$$

$$b = \sqrt{Z^2 - a^2}$$

En este caso se hallará primero la diferencia entre el cuadrado de la hipotenusa y el cuadrado del cateto conocido; el valor del otro cateto estará dado por la raíz cuadrada de la diferencia hallada.

RAIZ CUADRADA

El número 9, por ejemplo, es el cuadrado de 3; se dice, inversamente que 3 es la raíz cuadrada de 9.

Definición. — Llámase raíz cuadrada de un número, a uno de los dos factores iguales que, multiplicados entre sí, reproducen el número dado.

En el ejemplo citado tenemos:

$$3 \times 3 = 9$$

y también:

$$\sqrt{9} = 3$$

REGLA —

Para extraer la raíz cuadrada de un número entero, se procederá de la siguiente manera:

1.º — Se descompone el número dado en grupos de dos cifras comenzando de la derecha, (el último grupo, a la izquierda, podrá tener una sola cifra);

2.º — Se extrae la raíz cuadrada del mayor cuadrado contenido en el primer grupo de la izquierda y se determina así la primera cifra de la raíz; el cuadrado de esta cifra se sustrae del grupo de donde ella proviene, agregándole a la diferencia el segundo período separando la última cifra de la derecha;

3.º — Se divide la parte de la izquierda por el duplo de la raíz hallada, lo cual nos da el segundo guarismo de la raíz o un número que es muy grande; se verifica este número escribiéndolo a la derecha del duplo de la raíz y multiplicando la cantidad resultante por dicho número. Si el producto se puede restar de la diferencia seguida del segundo grupo de cifras, el número es exacto; en caso contrario, se disminuye de 1 y se repite la verificación;

4.º — Junto a la derecha, de esta segunda diferencia se escribe el tercer grupo de dos cifras, del cual se separa la última cifra, y se divide la parte de la izquierda por el duplo de la raíz hallada. Se procede de esta forma mientras haya grupos de dos cifras que bajar.

Si la última diferencia es cero, la raíz es exacta; en caso contrario, su exactitud es, por defecto, menor que la unidad.

Sea 238613 el número cuya raíz cuadrada debemos hallar. La operación se dispondrá de la siguiente manera:

$\begin{array}{r} \sqrt{23.86.13} \\ - 16 \\ \hline 78.6 \\ - 704 \\ \hline 821.3 \\ - 7744 \\ \hline \text{residuo } 469 \end{array}$	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px;">488</td> <td style="border-top: 1px solid black; padding: 5px;">raíz</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">$4 \times 4 = 16$</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">$2 \times 4 = 8$</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">$2 \times 48 = 96$</td> <td style="padding: 5px;">$88 \times 8 = 704$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">$958 \times 8 = 7744$</td> </tr> </table>	488	raíz	$4 \times 4 = 16$		$2 \times 4 = 8$		$2 \times 48 = 96$	$88 \times 8 = 704$		$958 \times 8 = 7744$
488	raíz										
$4 \times 4 = 16$											
$2 \times 4 = 8$											
$2 \times 48 = 96$	$88 \times 8 = 704$										
	$958 \times 8 = 7744$										

Observando el desarrollo de este ejemplo y aplicando la regla enunciada, podrán efectuarse otros ejercicios.

Comprobación de la operación —

No hay error, cuando el cuadrado de la raíz más el residuo (si hay) nos produce el número dado. En nuestro ejemplo tenemos:

$$(488 \times 488) + 469 = 238613$$

RAIZ CUADRADA DE UN NUMERO QUE COMPRENDE DECIMALES

Para obtener la raíz cuadrada de un número que comprende decimales, se extrae la raíz de la parte entera como en el caso anterior; se divide la parte decimal en períodos de dos cifras a partir de la coma, completándolo con un cero en el caso de que el número de cifras decimales fuera impar, y se continúa extrayendo la raíz como si fuera un número entero, teniendo la precaución de separar con una coma las cifras de la raíz que corresponden a la parte entera.

EJEMPLO: Extraer la raíz cuadrada del número 213,259 (como el número de cifras decimales es impar, se agrega un cero) o sea 213,2590.

$\begin{array}{r} 2.13,25.90 \\ - 1 \\ \hline 11.3 \\ - 96 \\ \hline 172.5 \\ - 171.6 \\ \hline 99.0 \end{array}$	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px;">1460</td> <td style="border-top: 1px solid black; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">$1 \times 1 = 1$</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">$2 \times 1 = 2$</td> <td style="padding: 5px;">$24 \times 4 = 96$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">$2 \times 14 = 28$</td> <td style="padding: 5px;">$286 \times 6 = 1716$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">$2 \times 146 = 292$</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">$2920 \times 0 = 0$</td> </tr> </table>	1460		$1 \times 1 = 1$		$2 \times 1 = 2$	$24 \times 4 = 96$	$2 \times 14 = 28$	$286 \times 6 = 1716$		$2 \times 146 = 292$		$2920 \times 0 = 0$
1460													
$1 \times 1 = 1$													
$2 \times 1 = 2$	$24 \times 4 = 96$												
$2 \times 14 = 28$	$286 \times 6 = 1716$												
	$2 \times 146 = 292$												
	$2920 \times 0 = 0$												

PRUEBA: $(14,6 \times 14,6 + 0,099 = 213,259)$.

NOTAS —

1a. — Cuando cualquiera de las partes de la izquierda de las diferencias no contienen el duplo de la raíz hasta entonces hallada, se agrega un cero a la raíz y se baja otro grupo de dos cifras, continuando como antes.

2a. — En la raíz debe haber tantas cifras como grupos de dos cifras hay en el número dado.

Es evidente que con los logaritmos la operación de extraer raíces se simplifica enormemente; cuando nuestros conocimientos en el manejo de dichas tablas sean completos; será posible resolver las cuestiones que se presenten con mucha mayor rapidez.



**Auto - Examen
de
Radio**

LECCIONES 1a., 2a., 3a. y 4a.

- 1—¿Tiene alguna aplicación el magnetismo en la Radio?
- 2—¿Qué es magnetita?
- 3—¿Qué es imán natural?
- 4—La magnetita, ¿en qué estado se encuentra?
- 5—¿Es reciente su descubrimiento?
- 6—¿Qué es propiedad magnética?
- 7—¿Qué es imán artificial?
- 8—¿Qué es un imán?
- 9—¿Qué sucede si suspendemos un imán por su centro?
- 10—¿Para qué se emplea en la práctica este fenómeno?
- 11—¿Qué son los polos del imán?
- 12—¿Qué sucede si se acercan dos imanes por sus polos norte?
- 13—¿Qué sucede si se acerca el polo norte de un imán al polo sud de otro?
- 14—¿Qué es línea magnética?
- 15—¿Qué es espectro magnético?
- 16—¿Qué es sustancia no magnética?
- 17—¿Idem sustancia diamagnética?
- 18—¿Idem sustancia ferromagnética?
- 19—En Radiotelefonía, ¿dónde se aplica los imanes?
- 20—¿Qué son imanes temporarios?
- 21—¿Idem permanentes?
- 22—¿Qué es poder de retención?
- 23—¿Qué es magnetismo remanente?
- 24—¿Qué se entiende por teoría molecular del magnetismo?
- 25—¿Cuándo un hierro está magnéticamente saturado?
- 26—¿Qué es fuerza coercitiva?
- 27—¿Qué es un solenoide?
- 28—¿Cómo se comporta?
- 29—Analogía del solenoide con el imán.
- 30—Ejercítense el alumno sobre problemas de fuerzas de atracción o repulsión.

LECCIONES 5a., 6a., 7a. y 8a.

- 1—¿Qué es molécula?
- 2—¿Qué es átomo?
- 3—¿Cómo está formado el átomo?
- 4—¿En qué se diferencian las distintas sustancias?
- 5—¿Qué es electrón?
- 6—¿Qué es carga eléctrica?
- 7—¿Cómo se consigue?
- 8—¿Cómo se carga un cuerpo donde hay exceso de electrones?
- 9—¿Idem de protones?
- 10—¿Qué es el éter?
- 11—¿Qué es la Tierra con respecto al Sol?
- 12—De acuerdo a lo explicado, ¿qué será el Sol con respecto a las estrellas que también son soles? (Piensen en un cuerpo común para comparar).
- 13—¿Por qué se rechazan dos cuerpos cargados?
- 14—¿Qué se entiende por corriente electrónica?
- 15—¿Por qué se produce?

**Auto-Examen
de
Radio**

LECCIONES 9a., 10a., 11a. y 12a.

- 1—¿De cuántas maneras pueden manifestarse los efectos de la corriente eléctrica?
- 2—¿Qué es el Volt?
- 3—¿Qué es el Ampere?
- 4—¿Qué es el Ohm?
- 5—¿Qué dice la Ley de Ohm?
- 6—¿Qué conclusiones resultan de ella?
- 7—¿Cómo se calcula la intensidad de un circuito?
- 8—¿Cómo se calcula la caída de tensión? (Tratar de definirla).
- 9—¿Cómo se calcula la resistencia óhmica de un circuito? (Tratar de definirla).
- 10—¿De acuerdo a la definición de caída de tensión, cómo se definiría la caída de tensión total de un circuito de varias resistencias en serie?
- 11—¿Qué es coeficiente de resistividad?
- 12—¿Es el mismo para todas las sustancias?
- 13—Recordando la teoría electrónica, ¿a qué se podría atribuir las diferencias de resistividad en las distintas sustancias?
- 14—¿Cómo se podría calcular la resistencia de un conductor largo, cuya longitud es conocida, así como también su diámetro y el metal? (Explicación).
- 15—¿Qué es coeficiente de Temperatura?
- 16—¿Qué importancia tiene?
- 17—¿Por qué no puede emplearse cualquier metal para la construcción de resistencias, especialmente en aparatos de medición?
- 18—¿Qué se podría hacer para evitar que un conductor varíe mucho en resistencia?
- 19—Uso del Código Internacional de Colores aplicado a resistencias.
- 20—Proponerse problemas sobre las cuatro lecciones.
- 21—¿Qué ventajas se obtiene con el uso del Abaco para la ley de Ohm?

LECCIONES 13a., 14a., 15a. y 16a.

- 1—¿Qué son sistemas en paralelo?
- 2—¿Qué es conductancia?
- 3—¿Cómo se denomina la unidad de conductancia?
- 4—¿Qué es circuito equivalente?
- 5—¿Qué es circuito de conexión mixta?
- 6—¿Qué es la ley de Coulomb?
- 7—¿Cómo se define?
- 8—¿Qué aplicaciones tiene?
- 9—¿Qué es potencia eléctrica?
- 10—¿Qué es la Ley de Joule?
- 11—¿Dónde se aplica?
- 12—¿Qué importancia tiene en la Radio?

LECCIONES 17a., 18a., 19a. y 20a.

- 1—¿A qué se denomina corriente continua?
- 2—¿A qué se llama corriente alternada?
- 3—¿De cuántas maneras se podría generar una corriente inducida?
- 4—¿Cómo se explica la presencia de una corriente inducida?
- 5—¿Qué factores intervienen para calcular la t.e.m. inducida?
- 6—¿Qué es la ley de Lenz?
- 7—¿Qué importancia tiene?
- 8—¿Cómo formaríamos un generador elemental de corriente alternada?
- 9—¿Qué es senoide?
- 10—¿Qué es ciclo?
- 11—¿Qué es frecuencia?
- 12—¿Qué es amplitud?
- 13—¿Qué son nodos?
- 14—¿Qué es longitud de onda?
- 15—¿Cómo se relaciona con la frecuencia?
- 16—¿Qué es self inducción?
- 17—¿Qué es inductancia?
- 18—¿Qué es el Henry?
- 19—Anotar en el cuestionario los resultados obtenidos con las experiencias efectuadas de acuerdo a la Lección 20.

LECCIONES 21a., 22a., 23a. y 24a.

- 1—¿Cómo se emplea la Fórmula de Nagaoka?
- 2—¿El factor K, qué es?
- 3—Proponerse problemas con la Fórmula de Nagaoka.
- 4—¿Cuándo se puede conectar dos inductancias con serie para que el resultado sea igual a la suma?
- 5—Si el resultado no fuera igual a la suma, ¿por qué?
- 6—¿Cómo se calculan inductancias en paralelo y que no son inductivas entre sí?
- 7—¿Qué significa reactancia inductiva?
- 8—¿Qué significa impedancia?
- 9—¿Qué es la inductancia mutua?
- 10—¿Cuál es el fenómeno que la origina?
- 11—¿Qué es un condensador?
- 12—¿Podrían formar un condensador dos espiras de un solenoide de una inductancia?

LECCIONES 25a., 26a., 26a. y 28a.

- 1—¿Cuál es la diferencia de un condensador de "mica" con respecto a uno tubular?
- 2—Si el dieléctrico tiene el mismo espesor tanto en un condensador de "aire" como en uno de "mica" y siendo las características de las armaduras iguales ¿cómo serán las capacidades de ambos?
- 3—¿Cuál sería la explicación de la pregunta N.º 2?
- 4—¿Atraviesa la corriente alternada al condensador?
- 5—¿Por qué?
- 6—La reactancia capacitativa, ¿por qué es la inversa de la inductiva?
- 7—¿Por qué la impedancia total de un circuito de corriente alternada se expresa:

$$Z_t = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

LECCIONES 29a., 30a., 31a. y 32a.

- 1—¿ Por qué se produce el fenómeno de resonancia?
- 2—¿ Qué influencia tiene la resistencia óhmica en la inductancia de un circuito resonante?
- 3—¿ A qué es igual la impedancia de un circuito resonante?
- 4—¿ Para qué sirven las fórmulas 39; 40 y 41?
- 5—¿ Cuándo se produce una corriente a través de una válvula de radio?
- 6—¿ Qué significa característica de un diodo?
- 7—¿ Qué representa la característica de placa y la de grilla de un triodo?
- 8—¿ Para qué se emplea la familia de características de placa de un triodo?
- 9—¿ Qué características debe reunir una válvula para que actúe como detectora?
- 10—¿ Idem amplificadora?
- 11—¿ Qué es factor de amplificación?
- 12—¿ Qué es resistencia interna de una válvula (resistencia de placa)?
- 13—¿ Qué significa transconductancia?
- 14—¿ Qué significa modular una estación radiotelefónica?

LECCIONES 33a., 34a., 35a. y 36a.

- 1—¿ Qué son los amperes-vueltas?
- 2—¿ Qué es fuerza magneto-motriz?
- 3—¿ Qué es reluctancia?
- 4—¿ Qué es intensidad de flujo magnético?
- 5—¿ Qué es un teléfono de radio?
- 6—¿ Qué es un altoparlante?
- 7—¿ Qué diferencia existe entre un altoparlante electrodinámico y un magnetodinámico?
- 8—¿ Por qué se creó la válvula tetrodo?
- 9—¿ Por qué se creó la válvula pentodo?
- 10—¿Cuál es el valor máximo de la carga de placa de una válvula?
- 11—¿ Qué porcentaje de señal a 50 ciclos/segundo se puede aplicar a la grilla de una válvula?
- 12—¿Cuál es el factor de amplificación práctico?
- 13—¿ Qué es un transformador de amplificación de baja frecuencia?

LECCIONES 37a., 38a., 39a. y 40a.

- 1—¿Cuál es la causa o el fenómeno que produce la desviación de una bobina colocada en un campo magnético?
- 2—¿ Qué es un amperímetro?
- 3—¿ Qué es un Shunt?
- 4—¿ Qué es un voltímetro?
- 5—¿ Qué es una resistencia adicional?
- 6—¿ Qué funciones desempeñan los catodos?
- 7—¿ Qué ventajas se obtiene con el tipo de catodo de calentamiento indirecto con respecto al de calentamiento directo?
- 8—¿ Qué es una resistencia de catodo?
- 9—¿ Cómo se calcula?
- 10—¿ Qué es la carga de placa de una válvula de radio?
- 11—¿ Qué importancia tiene el conocimiento de los valores adecuados para la carga de placa de las válvulas que trabajan como amplificadoras de alta frecuencia?
- 12—En un sistema de amplificación de alta frecuencia del tipo aperiódico ¿qué importancia tiene conocer el valor de la capacidad distribuida?

LECCIONES 41a., 42a., 42a. y 44a.

- 1—¿Cuál sería el tipo de instrumento indicado para medir corrientes alternadas?
- 2—¿Por qué?
- 3—¿Qué es un medidor de energía eléctrica?
- 4—¿Cómo es la resistencia de un circuito recorrido por una corriente de alta frecuencia?
- 5—¿Cuál sería el tipo de válvula que emplearía para amplificar señales de alta frecuencia cuya estación que las emite está muy próxima a la antena del receptor.
- 6—¿Qué misión tienen las rectificadoras de corriente?
- 7—¿Qué es el factor Q de una inductancia?
- 8—¿Qué importancia tiene?

LECCIONES 45a., 46a., 47a. y 48a.

- 1—¿Qué es una fuente de alimentación de corriente alternada, de onda completa?
- 2—¿Cómo actúan los condensadores y la inductancia en el filtro de un rectificador?
- 3—¿En qué empleamos los rectificadores de corriente alternada?
- 4—¿Para qué nos sirve un transformador de alimentación de corriente alternada?
- 5—¿Qué se necesita conocer para calcular las espiras que llevará cada secundario cuando se conoce los valores de tensiones de cada uno de ellos?
- 6—¿Qué se necesita conocer para calcular la sección del núcleo del transformador?
- 7—¿Cuántas espiras tendría el transformador en su primario cuando trabaja en una red de canalización de 110 V. con respecto al mismo cuando trabaja en una red de energía de 220 V.
- 8—¿Qué porcentaje debe dar el cálculo del transformador para que sea posible la construcción de la bobina del transformador para un núcleo determinado?
- 9—¿En qué orden emplearía los Abacos de la Lección 48.^a para el cálculo del diámetro óptimo del conductor?

**Respuestas al
Auto - Examen
de Radio**

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES

1a., 2a., 3a. y 4a.

- 1—En la Radio la aplicación del magnetismo es vital, pues debido al conocimiento de sus fenómenos estamos en condiciones de construir los aparatos radio-telefónicos, pues todos éstos trabajan de acuerdo a sus leyes aplicadas al electromagnetismo.
- 2—Se da el nombre de magnetita a una sustancia ferrosa que se encuentra en la naturaleza, casi siempre ya imanada.
- 3—El imán natural es la magnetita que se encuentra ya imanada.
- 4—La primera impresión que se recibe al observar la magnetita es la de que se parece a una planta espinosa o a un erizo de mar; al tocarla se nota que está compuesta de un gran número de pequeños trocitos de hierro como si fueran laminas de hierro; toman esta forma particular debido, precisamente, a que están imanadas.
- 5—El descubrimiento de la magnetita fué debido a los griegos casi 600 años antes de J. C., pero su utilización con fines prácticos fué muy posterior.
- 6—Se llama propiedad magnética a la propiedad de atraer el hierro y a sus derivados.
- 7—Un imán artificial es aquel que, una vez obtenida la propiedad magnética, la retiene, comportándose como si fuera un imán natural.
- 8—Imán, es todo cuerpo que posee la propiedad magnética.
- 9—Si suspendemos un imán recto por su centro, indicará la línea norte-sud magnética del globo terrestre; si el imán es en forma de herradura y se lo suspende por el centro, girará sobre sí mismo orientando sus costados a los dos polos de nombre contrario del globo terrestre. Si el imán es comercial, indicará el polo del mismo nombre (los lectores ya conocen el por qué).
- 10—En la práctica se aplica este fenómeno exclusivamente con fines de navegación (brújula) y el de levantar pequeñas piezas de hierro o en trabajos de química.
- 11—Se define como polos de un imán a la región por donde entran o salen las líneas de fuerza, líneas magnéticas que, como habrán notado, no están precisamente en el borde del imán sino un poco alejadas de él.
- 12—Si se acercan dos imanes por sus polos norte, éstos se rechazarán.
- 13—Si se acercan dos polos contrarios, se atraen.
- 14—La línea magnética es la que nos indica la dirección del campo en un punto cualquiera de aquél.
- 15—El espectro magnético nos muestra la forma de las líneas de fuerza o líneas magnéticas, como así también la disposición de éstas en el campo magnético.
- 16—Se llaman sustancias no magnéticas a las que, sometidas a un campo magnético, no influyen en la forma del campo magnético, o, en otras palabras, que al acercamos un imán a una sustancia no magnética, ésta no es atraída por aquél.
- 17—Sustancia magnética es aquella que, sometida en un campo magnético, se imana débilmente, pero en sentido contrario al del campo magnético, como por ejemplo, el cobre, oro, mercurio, etc.
- 18—Sustancias ferromagnéticas son aquellas que colocadas en un campo magnético, se iman en el mismo sentido del campo. Entre estas sustancias tenemos unas que se iman fuertemente y otras débilmente, figurando en el primer grupo el hierro y sus derivados. En el segundo tipo tenemos el níquel, tungsteno, etc.
- 19—En radiotelefonía se utilizan los imanes en gran escala en los altoparlantes, membranas fono-eléctricas (pick-up), en micrófonos, etc.
- 20—Son imanes temporarios aquellos cuerpos de hierro que luego de haber sido sometidos a la acción de un campo magnético y de haberse comportado como un imán por la influencia del campo magnético, pierden todas esas características en cuanto se retira dicho cuerpo del campo magnético.
- 21—Son imanes permanentes aquellos que, luego de haber sido sometidos a la acción de un campo magnético, retienen sus características de imán aún después de haber sido retirados del campo magnético.
- 22—El poder de retención de un imán nos indica la calidad del imán, pues cuanto mayor poder de retención tiene, el campo magnético que genera es más intenso, lo que se traduce en un imán de mayor "poder" magnético.

- 23—El magnetismo remanente es la pequeña cantidad de magnetismo que retiene un hierro dulce después de haberlo sometido a la acción de un fuerte campo magnético.
- 24—La teoría molecular del magnetismo nos enseña que todos los hierros están formados por pequeños imanes moleculares que cuando no actúa ningún campo magnético que los influya están en su masa totalmente desordenados, pero en equilibrio.
- 25—Se da el nombre de hierro magnéticamente saturado cuando todos sus imanes moleculares están orientados en el mismo sentido.
- 26—La fuerza coercitiva es exactamente la inversa del poder de retención, puesto que cuanto mejor es un imán permanente, se necesitará un campo magnético más intenso, pero de sentido contrario, para desimarlo completamente.
- 27 y 28—El solenoide es lo que en la práctica llamamos bobina y que se comporta exactamente igual que un imán cuando es recorrido por una corriente eléctrica y está formado por espiras de alambre de cobre aisladas y arrolladas una al lado de otra para hacer más efectivo y más concentrado el campo magnético generado.
- 29—La analogía entre un imán y un solenoide la vemos prácticamente en el espectro magnético y además por la utilización del solenoide para la industria en la aplicación de los electroimanes.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES

5a., 6a., 7a. y 8a.

- 1—Molécula es la mínima expresión de cuerpo compuesto.
- 2—Atomo es la mínima expresión de materia.
- 3—El átomo está formado por cargas eléctricas negativas y positivas que llamamos respectivamente electrones y protones y que varían en número para cada sustancia.
- 4—Las distintas sustancias se diferencian solamente en la composición del átomo, es decir, en la distribución y cantidad de los electrones y protones.
- 5—El electrón es el elemento móvil del átomo y su desplazamiento origina la corriente eléctrica. La velocidad de este desplazamiento es de 300.000 kms. por segundo.
- 6—Se llama carga eléctrica a la acumulación o falta de electrones de un cuerpo.
- 7—Esta carga puede obtenerse, por frotamiento, generalmente; también por la acción de un campo magnético, etc.
- 8—Cuando un cuerpo tiene exceso de electrones se dice que está cargado negativamente.
- 9—Análogamente, si el exceso es de protones, el cuerpo está cargado positivamente.
- 10—Se llama Eter un medio elástico en el cual se supone "flotan" los átomos permitiendo perfecta movilidad a los electrones y que nos permite explicarnos además el porqué un cuerpo puede variar de volumen.
- 11—La tierra con respecto al sol es como un electrón de hidrógeno respecto a su protón o núcleo.
- 12—Con respecto al sol, las estrellas, que también son otros soles, vienen a ser los protones o soles de sistemas como el sistema solar nuestro. Es decir formarían un cuerpo de un tipo tal como los que vemos en la naturaleza. Supongamos que estamos en condiciones de construir un microscopio tal que nos permita ver la composición de la materia o sean los átomos, entonces veríamos posiblemente a través de la lente algo parecido a lo que vemos mirando el cielo con un telescopio.
- 13—Los cuerpos cargados se rechazan porque sus cargas son del mismo signo o de la misma naturaleza.
- 14—Una corriente eléctrica o corriente electrónica es un desplazamiento de electrones de un punto a otro de un cuerpo o de un cuerpo a otro.
- 15—Esta corriente electrónica se produce debido a la influencia producida entre dos cuerpos, uno de los cuales tiene exceso de electrones y el otro exceso de protones.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES
9a., 10a., 11a. y 12a.

- 1—La corriente eléctrica puede manifestarse de tantas maneras como fenómenos origina (Calor, magnetismo, etc.).
- 2—El Volt es la unidad de f.e.m. y nos indica la “presión” que existe en un circuito eléctrico.
- 3—El Ampere es la unidad de intensidad de la corriente eléctrica y es la que origina todos los fenómenos conocidos.
- 4—El Ohm es la unidad de resistencia eléctrica y es la que nos indica si el circuito ofrece o no dificultades al pasaje de la corriente.
- 5—La ley de Ohm nos enseña que cuando por una resistencia circula una corriente eléctrica debe existir entre sus extremos una f.e.m. que origina dicha corriente.
- 6—Las conclusiones que se obtienen de esta ley son: nos permiten calcular todos los circuitos en el papel antes de llevarlos a la práctica, con lo que se pueden prever los resultados. Además, la ley de Ohm nos permite averiguar en cualquier momento los valores que interesa conocer en el circuito.
- 7—La intensidad del circuito se obtiene al dividir el voltaje aplicado al circuito (f.e.m.) por la resistencia total del mismo.
- 8—Se calcula la caída de tensión multiplicando la intensidad del circuito por la resistencia del mismo. Es decir, que cuando una intensidad de corriente eléctrica atraviesa a una resistencia se produce entre sus extremos una caída de voltaje.
- 9—Se calcula la resistencia óhmica, dividiendo el valor del voltaje aplicado a la resistencia por la intensidad de la corriente que dicha resistencia permite pasar.
- 10—Se define la caída de voltaje total del circuito como la suma de las caídas de voltaje parciales.
- 11—El coeficiente de resistividad nos indica la resistencia que poseen todos los conductores cuando se toma de ellos un alambre de 1 mm. cuadrado de sección y 1 metro de longitud y se los mide.
- 12 y 13—Existe un valor distinto de resistividad para cada sustancia, puesto que su constitución atómica es distinta.
- 14—Cuando se conoce la longitud de un conductor, su diámetro y la sustancia de que está compuesto, se puede calcular su resistencia de la siguiente manera: Conociendo el diámetro podemos calcular su sección por medio de la fórmula $S = \frac{\pi \times d^2}{4}$ si el conductor es redondo, y $S = \frac{a \times b}{1}$ si es rectangular. Luego basta aplicar la fórmula $R_a = \frac{\rho \times l}{S}$
- 15—El coeficiente de temperatura nos indica qué variaciones puede sufrir un conductor cuando varía su temperatura.
- 16—La importancia que tiene dicho factor de temperatura es muy grande y por ello a cada tipo de trabajo corresponderá un tipo especial de conductor.
- 17—No se puede utilizar cualquier metal para la construcción de resistencias porque la variación de resistencia en ciertos metales, es muy grande con respecto a la variación de temperatura.
- 18—Para evitar que un conductor varíe su resistencia hay que tratar de que su resistencia total sea muy pequeña o sea tener una sección muy grande. Y si el calentamiento fuese inevitable debe utilizarse un conductor especial para esa clase de trabajos (niquelina, constantán, etc.).
- 21—Las ventajas que se obtienen con la utilización del Abaco son enormes, pues nos permite obtener los resultados de las fórmulas sin necesidad de efectuar operaciones.

Los números 19 y 20, que no figuran, corresponden a práctica y problemas que deben proponerse los alumnos de “motu proprio”.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES 13a., 14a., 15a. y 16a.

- 1—Se dicen sistemas de resistencias conectadas en paralelo, cuando sus extremos están conectados a las bornas de una misma fuente electro-motriz o producen una caída de voltaje que depende del conjunto.
- 2 y 3—La conductancia, como su nombre lo indica, nos expresa el grado de conductibilidad de un circuito; cuando más “Mhos” tiene el circuito mayor es la intensidad de la corriente que lo atraviesa, por lo cual se ve que es la inversa de la resistencia siendo la unidad de conductancia el Mho (Ω). En el uso de las válvulas empleadas en la radiotécnica esta propiedad, diremos de conductancia, es de una importancia muy grande.
- 4—El circuito equivalente nos dice que su valor puede desarrollar la misma función en el circuito que la resistencia que dió origen a la equivalente. Por lo tanto, para simplificar los cálculos en cualquier circuito donde intervienen varias resistencias, siempre los reduciremos al valor de una sola equivalente, porque nos permite de una manera directa, hallar el valor de la intensidad de la corriente total que atraviesa el circuito o simplemente para hallar un circuito más simple.
- 5—Un circuito de conexión mixta es aquel en el cual hay conectadas resistencias en serie, en paralelo, serie paralelo, etc., que es en realidad a lo que se reduce un circuito de radio. Por ejemplo: cada circuito de válvula es un circuito cerrado; como en un receptor hay varias válvulas, tenemos varios circuitos en paralelo, etc.
- 6—La ley de Coulomb nos enseña que la intensidad de corriente eléctrica que se entrega durante un tiempo determinado, por breve que sea éste, es una carga eléctrica y por lo tanto se desarrolla un fenómeno eléctrico o magnético, es decir, que esa carga eléctrica se gasta transformándose en energía.
- 7—Se dice que se ha entregado una carga eléctrica igual a un Coulomb, cuando ha pasado por el circuito una intensidad de corriente de un Amper y en el tiempo de un segundo.
- 8—La ley de Coulomb se aplica, como vimos en la lección correspondiente, cuando se trata de saber la carga a entregar a un acumulador o también cuando se trata de calcular la energía entregada por la compañía de electricidad al consumidor por medio de medidores llamados del tipo Amper-hora (3600 Coulombs). Esto nos dice que en una hora (3600 segundos), si ha pasado constantemente un amper, el consumidor tendrá que pagar en razón de cierta suma por Amper-hora, o sean 3600 Coulombs.
- 9—Potencia eléctrica: la potencia eléctrica es una manera más completa de definir la energía gastada o entregada a un circuito eléctrico pues si hablamos como en el caso del Coulomb, de una intensidad de un Amper por segundo, tácitamente se supone que existe una f.e.m. determinada que provoca esa intensidad de corriente; por lo tanto, cuando se habla de potencia eléctrica, se podrá escribir también:

$$W = E \times Q, \text{ o sea } W = E \times I \times t$$

- pues no olvidemos que cualquier fenómeno, sea eléctrico o magnético, son funciones de tiempo. No mencionaremos estos detalles en las lecciones, pues el factor tiempo (t) no nos interesa momentáneamente para nuestro trabajo; basta recordar que dicho factor, cuando se habló de potencia o energía eléctrica, viene tácito en la fórmula. Así la compañía, cuando nos cobra la cuenta de consumo eléctrico, nos dice: se han consumido tantos Kilowatts-hora: corresponde pagar “tanto”. Quiere esto decir, que la compañía ha suministrado una energía eléctrica (watt) que se consume en un determinado tiempo. Veamos, por ejemplo:

Si tenemos una lámpara de luz que necesita para su encendido normal, 40 watts. Quiere decir, que en una hora consumirá una energía eléctrica igual a 40 watt-hora y para 100 horas de consumo, 4000 watt-hora. Ahora supongamos tener otra lámpara que, en lugar de ser de 40 watt, sea de 400 watt; es decir, que en una hora va a consumir una energía de 400 watt-hora; por lo tanto, si la usamos durante 10 horas se ha gastado la misma energía que con la de 40 watt en 100 horas, por lo cual se dan cuenta de que en la práctica la energía eléctrica se la usa afectada del factor tiempo (t).

- 10—La ley de Joule nos dice que, si por un conductor pasa una corriente, dicho conductor irá elevando su temperatura, si es que el calor generado no se disipa. Por lo tanto, nos damos cuenta de que una parte de la energía entregada a un circuito se gasta o se pierde para vencer las resistencias propias de los conductores, y de ahí, el aumento de temperatura.
- 11 y 12—Se aplica en la Radiotécnica, en el cálculo de las resistencias, puesto que las condiciones de ventilación son bastante escasas en un receptor de radio o transmisor, sobre todo en el receptor. Y como además, por razones de espacio, se necesita emplear resistencias y conductores de tamaño relativamente reducido, es necesario aplicar el cálculo de la fórmula de la ley de Joule, para evitar que ocurran accidentes a esos elementos.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES

17a., 18a., 19a. y 20a.

- 1—Se denomina corriente continua al tipo de energía eléctrica que fluye en una misma dirección y siempre tiene la misma magnitud su fuente de f.e.m.
- 2—Corriente alternada es aquella en la cual el sentido de la corriente se invierte de acuerdo a una ley determinada, puesto que lo mismo ocurre con la fuerza electro-motriz.
- 3—Habrá tantas maneras de generar una f.e.m. inducida como probabilidades tengamos de que tanto sea el campo magnético que varíe de intensidad, así como también el movimiento de la espira o espiras o conductores de campo magnético.
- 4—La presencia de una corriente inducida se debe al desplazamiento producido por la acción de un campo magnético variable.
- 5—Los factores que intervienen en el cálculo de la f.e.m. inducida son: la frecuencia, el campo magnético, el conductor y el tiempo en que dicho fenómeno se produce.
- 6—La ley de Lenz nos enseña que la corriente inducida tiene un sentido tal que se opone a la causa que la produce; es decir, nos da la idea de un fenómeno que trata de evitar el rompimiento del equilibrio de los electrones de los cuerpos cuando son sometidos a intensidades de campos magnéticos variables.
- 7—La importancia de esta ley estriba en que nos permite conocer en cada instante el sentido de la corriente inducida que atraviesa el circuito (ver Lección 17a.).
- 8—Si tuviéramos una espira que gira dentro de un campo magnético de tal manera que en cada media vuelta el plano de la misma se encuentre perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, podríamos obtener una f.e.m. de corriente alternada si cortamos la espira en un punto y los dos extremos los unimos a un circuito de consumo (resistencia, lámpara, etc.).
- 9—La sinusoides sería la curva formada por los valores instantáneos que alcanzaría la corriente en la espira en su recorrido completo de una vuelta si el movimiento de la espira fuese uniforme. Se obtiene como resultado todos los valores entre cero y un máximo positivo, de un máximo positivo a cero, de cero a un máximo negativo, y de un máximo negativo a cero, y así sucesivamente de acuerdo a la figura 55 (pág. 34, tomo 5).
- 10—Se dice que una f.e.m. o intensidad de corriente alternada ha efectuado un ciclo cuando sus valores han variado en la unidad de tiempo entre cero — máximo positivo — cero — máximo negativo y cero.
- 11—La frecuencia es el número de veces que, en la unidad de tiempo, se realiza un ciclo.
- 12—Amplitud de una f.e.m. o de una intensidad de corriente alternada es el valor máximo que toma en un instante determinado del ciclo.
- 13—Los nodos son los instantes en que la f.e.m. o la intensidad de la corriente alternada vale cero (en la figura 55, puntos 7-3-7).
- 14—La longitud de onda sería la distancia entre dos nodos no consecutivos de una alternancia.
- 15—La longitud se relaciona íntimamente con la frecuencia respecto a la velocidad de la luz, de manera que conociendo la longitud de onda se puede calcular la frecuencia y, recíprocamente, conociendo la frecuencia se puede calcular la longitud de onda (fórmulas 15 y 16).
- 16—La "self-inducción" o auto inducción es un fenómeno que da origen a una f.e.m. del mismo nombre y generada por el mismo campo magnético variable de una corriente y por lo tanto tiene un sentido contrario al de la corriente (Ley de Lenz).
- 17—Por tal razón, como cada circuito tiene características determinadas permite generar una f.e.m. propia debida a la corriente que lo atraviesa dependiendo su magnitud de su inductancia.

El lector imaginará que cualquier circuito donde se produce una f.e.m. de auto inducción tiene "inductancia"; por lo tanto, este fenómeno es aplicable a conductores rectos y en forma de solenoide, etc. Por lo tanto, depende de la inducción de un circuito el valor que puede asumir la f.e.m. de auto-inducción.

- 18—El Henry es la unidad con que se mide la inductancia.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES 21a., 22a., 23a. y 24a.

- 1—La fórmula de Nagaoka se emplea para el cálculo de inductancias solamente del tipo empleado en altas frecuencias.
- 2—El factor K nos permite calcular de una manera simplificada las inductancias, porque dicho factor nos da el valor que depende de la forma de la inductancia.
- 3—El lector habrá ensayado con la fórmula de Nagaoka.
- 4—Cuando se conectan inductancias en serie, para que el resultado sea igual a la suma de los valores de cada inductancia, éstas no deberán acoplarse inductivamente, es decir, que sus campos magnéticos no deben influenciarse.
- 5—Si el resultado no fuese igual a la suma, se debe a que los campos magnéticos se influyen, es decir, que aparece el fenómeno de la inductancia mutua.
- 6—Cuando se calculan inductancias que se conectan en paralelo y sus campos magnéticos no se influyen entre sí, se pueden calcular de la misma manera como si fueran resistencias en paralelo, es decir, utilizando la misma fórmula.
- 7—La reactancia inductiva nos da una idea de las dificultades que al pasaje de la corriente ofrecen las inductancias.
- 8—Impedancia en un circuito reactivo es el valor de todas las inductancias y resistencias óhmicas que se oponen al pasaje de la corriente alternada.
- 9—La inductancia mutua es producida por la influencia entre dos o más campos magnéticos variables, haciendo que su presencia altere los valores reales de las inductancias calculadas parcialmente.
- 10—Como la misma palabra lo dice, la inductancia mutua la originan los campos magnéticos variables entre inductancias.
- 11—Un condensador lo constituyen dos armaduras aisladas y a distinto potencial eléctrico.
- 12—Efectivamente, dos espiras de una inductancia constituyen un condensador, puesto que como por el conductor o alambre de que está construida la inductancia pasa corriente, se produce una diferencia de potencial eléctrico, y como entre las espiras existe aislación (dieléctrico). lógicamente se comprenderá que esto es, en realidad, un condensador.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES 25a., 26a., 27a. y 28a.

- 1—La diferencia entre un condensador de mica y uno tubular, está: en que uno tiene dieléctrico de mica y el otro de papel parafinado, de manera que aunque sus armaduras tuviesen las mismas superficies y el mismo espesor del dieléctrico, las capacidades serían distintas, debido a que las constantes dieléctricas son distintas.
- 2—Por lo dicho en la respuesta 1, queda contestada la pregunta 2.
- 3—Dijimos que cada materia tenía un número distinto de electrones libres, de manera que si una sustancia determinada tuviese más electrones, libres que otra, la corriente de electrones provocada por la armadura

positiva sería de mayor intensidad; por lo tanto, la carga de electrones es mayor, de manera que la capacidad será también mayor. Algunos físicos llaman a este fenómeno, provocado por el dieléctrico, "Poder inductivo del dieléctrico".

4 y 5— Dijimos en las lecciones anteriores, que no existía en la práctica ningún aislador perfecto, porque para serlo debería tener un valor de resistencia óhmica infinitamente grande. Como esto no es posible, como pueden comprobarlo observando la Tabla IV, se ve que se han obtenido aisladores, cuyas resistencias alcanzan a valores inmensos, pero que están lejos de llegar al infinitamente grande. Debido a esta razón, los dieléctricos utilizados tienen resistencia óhmica aunque sumamente elevada y podrían dejar pasar una corriente capaz de ser medida, cuando se emplean voltajes sumamente elevados y que en la práctica de la Radiotécnica no llegan a utilizarse. Nosotros en nuestros diseños siempre tendremos este factor en cuenta por razones de "aislación", pero debemos olvidarnos por otra parte de que tal cosa acontece porque todas nuestras teorías enunciadas hablan de un aislador ideal. En honor a la verdad, en la práctica se puede decir que el condensador actúa para la corriente como si fuera un aislador perfecto, si no, sería imposible construir equipos de radio tan perfectos como es posible construir hoy en día. Debemos entonces aceptar que por el condensador no pasa corriente, sino que debido al fenómeno de carga y descarga del mismo, provoca en el circuito intensidades de ida y vuelta, actuando como punto terminal de la corriente las superficies exteriores del dieléctrico, pero sin atravesarla.

6—La reactancia capacitativa es la inversa de la inductiva, debido a que en la inductancia el fenómeno de la self inducción genera una f.e.m. inducida en sentido contrario al de la fuente de fuerza motriz y lo cual hace que la intensidad de la corriente inducida sea también de sentido contrario al que generó la f.e.m. inducida, de manera que se ve que en una inductancia la self inducción actúa de manera tal que se opone a que la corriente circule por el circuito o sea que aumentará la reactancia inductiva con el aumento del valor de la inductancia. En cambio la capacidad da origen a una corriente en el momento de carga, pero la entrega nuevamente al circuito cuando el sentido de la corriente ha cambiado de dirección, de manera que la intensidad de la corriente producida por la descarga del condensador circula por el circuito ayudando a la corriente principal a aumentar de valor. Es decir, que tiende a evitar que se pierda energía en su circuito. En la inductancia una gran parte de la energía se gasta en el fenómeno de la self inducción. Se ve claramente entonces que la reactancia inductiva se comporta de una manera contraria a la reactancia capacitativa.

7—La impedancia total del circuito tiene la forma

$$Z_t = \sqrt{R^2 + (\Delta L - \Delta C)^2}$$

debido a que en todo circuito de corriente alternada están presentes los factores de resistencia óhmica, inductancia y capacidad.

**RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES
29a., 30a., 31a. y 32a.**

- 1—Cuando a una frecuencia determinada, la reactancia inductiva alcanza el mismo valor que la reactancia capacitativa resultará, que como los efectos de las dos reactancias son contrarios y del mismo valor se anularán dando origen a un considerable aumento en la intensidad de la corriente. A dicho fenómeno se le da el nombre de resonancia.
 - 2—Cuando un circuito está en resonancia, la intensidad de la corriente alcanza un cierto valor que depende de la resistencia efectiva del circuito pues las reactancias se han anulado entre sí. Por lo tanto, en los casos que se trabaje con circuitos resonantes se tendrá que reducir en lo posible la resistencia óhmica.
 - 3—Por lo dicho en la respuesta anterior, la impedancia del circuito resonante es igual a resistencia del circuito.
 - 4—Las fórmulas 39, 40 y 41 nos sirven para calcular la capacidad, la inductancia y la frecuencia respectivamente, de un circuito resonante y en las cuales es necesario conocer el valor de la capacidad, de la inductancia o de la frecuencia.
 - 5—La válvula de radio permite el pasaje de corriente a través de ella cuando el potencial de placa es superior al del filamento.
 - 6—La característica de un diodo nos indica cómo varía la intensidad de la corriente que lo atraviesa cuando se varían los voltajes que se aplican a la placa.
 - 7—La característica de placa de un triodo nos indica cómo varía la corriente de placa cuando se varían los voltajes de placa y manteniendo constante el potencial de grilla. Mientras la característica de grilla de un triodo nos indica cómo varía la corriente de placa cuando varían las potenciales de la grilla manteniendo constante el voltaje de placa.
 - 8—La familia de curvas características de placa nos sirve para determinar gráficamente las características de una válvula.
 - 9—Para que una válvula actúe como detectora, es necesario que trabaje en un punto determinado de la curva característica de grilla tal que quede eliminado del circuito de la placa la semionda negativa de la onda portadora.
 - 10—Para que actúe como amplificadora la válvula debe trabajar en un punto tal, de la curva característica de grilla, que permita mantener en el circuito de la placa una variación de la corriente de placa proporcional a las variaciones del voltaje de grilla.
 - 11—El factor de amplificación nos da una idea de la proporción entre la tensión de corriente alternada aplicada a la grilla y la variación de tensión que dicho potencial provoca en el circuito de placa.
 - 12—La resistencia interna de la válvula nos da una idea de la resistencia del circuito interno de la válvula cuando es atravesada por una corriente variable. Esta resistencia se define como la relación que existe entre el cambio de voltaje en el circuito de placa debido a un cambio en el potencial en el circuito de grilla y la variación que dicho cambio de potencial en el circuito de grilla produce en la corriente de placa.
 - 13—La transconductancia o mejor dicho la conductancia mutua de la válvula es el factor que nos indica la relación que existe entre un cambio en la corriente de placa y el potencial variable de la grilla que ha provocado la variación de la corriente de placa. Este factor se mide en Micromhos.
 - 14—Modular una estación radiotelefónica, significa superponer la potencia de alta frecuencia generada por la estación con la que produce un amplificador de potencia que recoge la voz, la palabra, la música, etc.
- La potencia de alta frecuencia que se transforma en energía radiante actúa de portadora de la señal mientras la de baja frecuencia de envolvente.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES
33a., 34a., 35a. y 36a.

- 1—Los amperes-vueltas es el factor que nos indica o mejor dicho nos da una idea exacta del valor del campo magnético generado por un electroimán o por un solenoide recorrido por una corriente. Si por ejemplo sabemos que un electro-imán de las mismas dimensiones, uno de ellos tiene más espiras que el otro cuando es recorrida dicha bobina por la misma corriente, se sabe que el electro-imán de mayor número de espiras, generará un campo magnético mayor (siempre que el hierro de éste no esté sobresaturado).
- 2—La fuerza magnetomotriz es precisamente lo mismo que para la corriente eléctrica es la fuerza electromotriz, y está dada por el valor de los amperes-vueltas multiplicado por una constante (0,4).
- 3—La reluctancia de un circuito magnético es exactamente lo mismo que la resistencia es en el circuito eléctrico.
- 4—La intensidad del flujo magnético es similar a lo que en el circuito eléctrico llamamos intensidad de corriente eléctrica. El valor de la intensidad del flujo magnético se obtiene de acuerdo a la ley de Ohm para electromagnetismo y que es similar al empleado en los circuitos eléctricos. La intensidad de flujo magnético se obtiene de dividir el valor de la fuerza magnetomotriz por el valor de la reluctancia.
- 5—Un teléfono es un implemento tal que permite reproducir sonidos.
- 6—Un altoparlante tiene la misma función de un teléfono pero con la diferencia que puede transformar mayor energía eléctrica en energía acústica.
- 7—La diferencia existente entre un altoparlante electrodinámico y uno magnetodinámico consiste en que, en el primero el campo magnético constante lo genera un electroimán, mientras que en el segundo el campo magnético lo genera un imán permanente.
- 8—Las dificultades que la válvula triodo presentaba para el trabajo con tensiones de alta frecuencia debido a su elevado valor de la capacidad interna de la válvula dió origen a la creación del Tetrodo.
- 9—La válvula pentodo se creó para evitar la carga del espacio que se producía sobre la grilla auxiliar.
- 10—El valor máximo de la carga de placa de una válvula amplificadora de baja frecuencia debe ser el doble del valor de la resistencia de placa de la válvula.
- 11—La señal máxima que puede aplicarse a la grilla de una válvula amplificadora de baja frecuencia empleando el método de resistencia-condensador-resistencia debe ser como máximo del 90 o/o de la señal que existe sobre la placa de la válvula precedente a 50 Hertz.
- 12—El valor del factor práctico de amplificación a resistencia es de $\frac{2}{3}$ del factor de amplificación teórico de la válvula.
- 13—Un transformador de amplificación de baja frecuencia, es un implemento que nos permite transferir energía de una inductancia a la otra que está en el campo magnético del primero. Como las inductancias empleadas en los transformadores de amplificación de baja frecuencia son de un valor muy elevado, se emplean núcleos de hierro laminado de un tipo especial.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES 37a., 38a., 39a. y 40a.

- 1—La causa que origina la desviación de una bobina recorrida por una corriente y colocada en un campo magnético, se debe al efecto mecánico producido por la repulsión o atracción entre los polos magnéticos generados y los del imán.
- 2—Un amperímetro es un instrumento de medición que sirve para medir intensidades de corriente y se conecta en serie con el circuito.
- 3—Un shunt nos sirve para poder aumentar el rango de medición de un amperímetro, y por esta razón se lo conecta en paralelo con el instrumento.
- 4—Un voltímetro es un instrumento de medición que nos permite medir tensiones de las fuentes de alimentación, como así también caídas de voltajes si la resistencia interna del instrumento es bastante elevada. El voltímetro se conecta en paralelo con el circuito cuando se trata de medir la tensión aplicada al mismo y cuando se trata de medir caídas de voltajes producidas por resistencias, se conecta entre los extremos de la misma cuya caída de voltaje que ésta provoca, queremos conocer.
- 5—La resistencia adicional nos sirve para aumentar el rango de medición de un voltímetro y se conecta en serie con el mismo.
- 6—Los cátodos son los emisores electrónicos, pues liberan electrones de su cuerpo debido a la excitación provocada en éstos por el aumento de temperatura del cuerpo destinado a la función de cátodo. Los cátodos pueden ser de calentamiento directo o indirecto.
- 7—Las ventajas que reporta el tipo de cátodo de calentamiento indirecto sobre el tipo directo es la facilidad, en primer lugar, de obtener emisión electrónica directamente de la red de canalización, cualquiera sea el tipo de corriente aplicado; segundo, que permite obtener voltajes de polarización sin la ayuda de una fuente especial; tercero, la economía y rigidez de los mismos.
- 8—La resistencia de cátodo nos permite obtener la tensión de polarización de la válvula aprovechando la caída de voltaje que provoca, de manera tal, que si se tiene cuidado en calcularla se consigue una polarización correcta de la válvula.
- 9—El cálculo para conocer el valor de la resistencia de polarización es de lo más simple, pues basta para ello conocer la corriente total de cátodo que están dadas en las características de la válvula para condiciones determinadas de trabajo y se divide el voltaje de polarización de la grilla de la válvula por el valor de la corriente total de la válvula. Este cociente da el valor de la resistencia que se necesita para una polarización correcta.
- 10—La carga de una válvula de radio es la que permite que las variaciones de la corriente de placa, provocada por las variaciones de la tensión de grilla, produzcan caídas de tensiones proporcionales a la tensión aplicada a la grilla de la misma válvula. Por esta razón la carga de placa permite obtener en el circuito de salida de la válvula la tensión amplificada o detectada según sea la función que desempeña la válvula.
- 11—La importancia del conocimiento de los valores de carga de placa, reside en que una carga de placa mal calculada puede producir la anulación de la etapa amplificadora si es que trabaja desempeñando esa función. O también que no se consiga el rendimiento deseado.
- 12—Conocer la capacidad distribuida de un amplificador aperiódico de alta frecuencia significa poder calcular convenientemente la inductancia más correcta sin correr el riesgo de que el amplificador funcione para una sola frecuencia, o sea la frecuencia de resonancia, siendo muy pobre o casi nula la que se produciría para las frecuencias restantes de estaciones que se quiere sintonizar.

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES
41a., 42a., 43a. y 44a.

- 1—El instrumento más indicado para medir corrientes alternadas sería el tipo electrodinámico.
 - 2—Porque nos permite medir las intensidades y las tensiones como si fuesen en corriente continuas.
 - 3—El medidor de energía eléctrica es un instrumento tal que permite medir la energía eléctrica que absorbe un circuito eléctrico determinado en función del tiempo.
 - 4—La resistencia de un circuito recorrido por una corriente de alta frecuencia es mayor que si dicho circuito fuese atravesado por una corriente continua. Este fenómeno se debe a pérdidas que se producen en el conductor y que absorbe parte de la energía que está en juego en el circuito; por lo tanto, actúa como si el circuito tuviese una resistencia mayor, siendo, por lo tanto, la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito de menor magnitud que en corriente continua.
 - 5—La válvula más adecuada para este caso sería tal cuya corriente de placa no se anule para el caso en que el potencial aplicado en su grilla sea relativamente elevado. Estas válvulas serían las llamadas de super-control.
 - 6—Las válvulas rectificadoras de corriente, nos permiten transformar una corriente alternada en otra cuyas variaciones son en un solo sentido; por lo tanto, tienen por misión la de “enderezar” la corriente alternada.
 - 7—El factor “Q” de una inductancia nos sirve para poder comparar una inductancia de otra por medio de su calidad. También nos dan el valor de “magnificación” de que es capaz la inductancia.
 - 8—La importancia que tiene el conocimiento del “Q” de una inductancia es la de conocer con bastante aproximación qué selectividad y qué amplificación puede obtenerse en circuitos sintonizados de alta frecuencia.
-

RESPUESTAS AL AUTO-EXAMEN DE LAS LECCIONES 45a., 46a., 47a. y 48a.

- 1—Una fuente de alimentación de corriente alternada es la que nos permite la rectificación y filtrado de la corriente industrial de la red. Una rectificación de las dos semiondas nos permite un mejor aprovechamiento de la energía de c. a., gracias al empleo de una válvula compuesta de dos diodos.
- 2—Las capacidades de los filtros de los rectificadores de corriente alternada actúan de tal manera que restituyen energía al circuito cada vez que la tensión tiende a disminuir de valor, evitando de esta manera que las fluctuaciones de la tensión pulsante pierdan parte de las características de tal. Las inductancias actúan de una manera similar, pero para intensidad de la corriente. Como la intensidad de la corriente pulsante atraviesa la inductancia, ésta produce una corriente inducida en el bobinado, pero de sentido contrario al de la corriente principal (Ley de Lenz). Esta corriente se induce precisamente para evitar que la corriente varíe, dando por resultado una corriente cuyas variaciones de amplitud quedan disminuídas.
- 3—Los rectificadores de corriente alternada se emplean para la obtención de energía de las mismas características de la corriente continua para la alimentación de los diferentes circuitos que componen un aparato de radio.
- 4—Se emplea con el fin de poder elevar o disminuir la tensión de la red de canalización.
- 5—Para calcular el número de espiras que debe llevar cada secundario, se necesita saber la cantidad de espiras que le corresponden a cada Volt del primario, o sea la relación entre el número de espiras del primario y la tensión aplicada al mismo.
- 6—Para calcular la sección del núcleo del transformador de alimentación es necesario conocer la potencia eléctrica que absorbe el primario y sumado a ésta un 20 o/o por las pérdidas.
- 7—Como la tensión de 110 V. es la mitad de 220 V., y como la tensión es directamente proporcional al número de espiras, resultará que el número de espiras será la mitad para 110 V. con respecto a un primario de 220 V. y para la misma sección del núcleo.
- 8—Para que la construcción del transformador sea posible, el cálculo del espacio que ocupará la bobina en la ventanilla del transformador será como máximo un 90 o/o del espacio de la misma.
- 9—Para calcular el diámetro óptimo del conductor de una inductancia, se calcula como primer medida el valor de la inductancia: luego se calcula el valor de P^2 ; luego de conocido dicho valor, se calcula el diámetro óptimo por medio de los Abacos N.º 19 ó N.º 20. Si el tipo de conductor a emplear fuese del tipo Lintzendraht, habrá que realizar la corrección del valor de P^2 antes de calcular el diámetro óptimo, empleando el Abaco N.º 21.

RECTIFICACION

La curva fig. 229 (Vol. 12) que dá la sección de los núcleos en función de la potencia consumida, se ha trazado erróneamente. El Abaco N.º 16 sufrirá una modificación en la escala correspondiente a los valores B x S. Ambas rectificaciones serán establecidas en el Volumen N.º 2.

ESTE LIBRO SE TERMINO DE
IMPRIMIR EL 15 DE JUNIO
DE 1945 EN LOS TALLE-
RES GRAFICOS "INDEX"
DE LUIS CASARTELLI,