

CHRISTIAN GELLERT

APRENDA ELECTROTECNICA EN 15 DIAS

NEOTECHNICA

CHRISTIAN GELLERT

aprenda

Electrotécnica

en 15 días

Un curso práctico
y rápido para
aprender una valiosa
profesión.

Casi leyendo de
corrido Ud. llegará
a dominar la teoría
y la práctica de la

ELECTROTECNICA

EDITORIAL **NEO
TECNICA**

CHRISTIAN GELLERT

con la dirección técnica del
ING. FRANCISCO L. SINGER

APRENDA
ELECTROTECNICA
EN 15 DIAS

EDITORIAL **NEO**
TECNICA

ARENALES 1258

BUENOS AIRES

Día 1

Nos proponemos dedicar quince jornadas al estudio de una ciencia aplicada que interviene en casi todas las actividades humanas y de la que encontramos sus aplicaciones en el hogar, en el trabajo, en las diversiones, en los transportes, en la medicina, etc. Donde haya luz eléctrica, vehículos, cine, televisión y cuanta manifestación del progreso del hombre, allí hay una aplicación eléctrica. Para estudiar este tema hay que tener algunos conocimientos previos de Física y de Matemáticas, temas que han ocupado dos tomos de la colección a que pertenece el presente libro, y que son: "Aprenda Física en 15 días" y "Aprenda Matemáticas en 15 días". El lector puede tener conocimientos de esos dos temas adquiridos en estudios secundarios, pero si no los tuviera es recomendable que los adquiriera para comprender mejor los cálculos y los fenómenos que aparecerán en todo el libro. También cabe advertir que hay otro tomo de esta misma colección dedicado al estudio de la Electricidad para principiantes que no tienen esos conocimientos previos, pero el presente puede, en cierto modo, ser considerado como una segunda parte de aquél, pues ahora profundizamos los estudios de los temas básicos y abarcamos otros temas no tratados anteriormente. La Electricidad como materia básica para el estudio de Radio y Televisión es una cosa y la Electrotecnia como materia formal no sirve de base para otras sino que constituye de por sí una materia terminal. Con lo dicho encaremos la primera jornada, que abarcará el repaso de algunas nociones de Electricidad que se estudiaron en Física.

NOCIONES DE ELECTRICIDAD

Muchas son las definiciones que se han dado de la Electricidad, ya comparándola con los flúidos, ya asignándole un aspecto granular, visible o invisible. Desde el punto de vista técnico interesa más considerar los efectos de la Electricidad que estudiar profundamente su estructura. Aquello es bien conocido y esto último todavía es motivo de polémicas en las academias de ciencias.

Conviene sin embargo dejar sentado un concepto sobre su naturaleza, para que no se adquieran interpretaciones erróneas de algunos de sus fenómenos.

Si se desmenuza un cuerpo sólido por ejemplo (los líquidos y gases admiten subdivisiones, pero no por métodos mecánicos) se obtendrá un polvo es decir un conjunto de pequeños granos cada uno de los cuales tiene muy reducidas dimensiones. Si se concibe que se tome un grano y se lo subdivide en partículas más pequeñas aún, se llegará a por-

ciones que ya no se pueden desmenuzar; esas porciones mínimas se llaman **moléculas**. Estudiándolas se ve que pueden estar formadas por una sustancia única o por varias mezcladas. Los cuerpos cuyas moléculas son de sustancia única se llaman simples y los otros compuestos. Es evidente que un cuerpo compuesto está formado por varios simples mezclados. Separando de una molécula cada sustancia distinta, se tienen porciones de materia indivisibles que se llaman **átomos**.

Es decir que el átomo es la ínfima porción de materia que se puede considerar. La reunión de infinito número de átomos forma un cuerpo simple y si mezclamos átomos de distintas clases se tienen los cuerpos compuestos.

Hasta aquí no parece tener utilidad alguna la serie de consideraciones que hemos hecho. Pero un grupo de investigadores se dedicó a estudiar un átomo aisladamente y vió que, pese a ser indivisi-

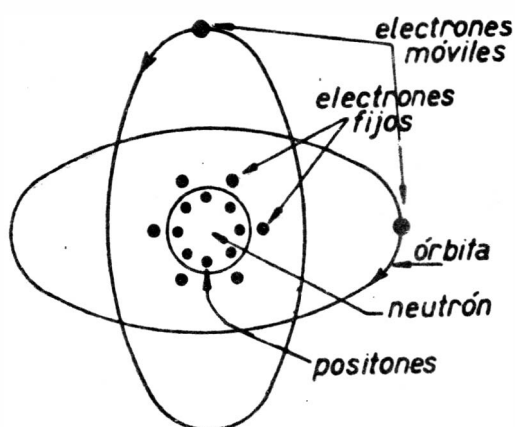


Fig. 1. - Estructura interna del átomo de un cuerpo.

ble, no era un grano macizo, sino hueco, y ni siquiera tenía paredes completas sino que su aspecto continuo, como una esfera, se debía a que los diminutos corpúsculos giraban con velocidad vertiginosa. Si se piensa en que atando una piedra a un hilo y haciéndola girar rápidamente vemos una circunferencia continua, debido a la velocidad del giro, se podrá concebir cómo si se tienen muchas piedritas que dan vueltas en torno a un punto, con altísima velocidad, el aspecto que presentará ese conjunto será de una bola maciza. Y lo interesante es que la mayor parte del volumen no tiene materia sino que está vacío, pues las partículas ocupan muy poco volumen.

Todos esos diminutos granitos giran alrededor de uno más grande que está en el centro. Veamos ahora un poco de lo que pasa en el edificio atómico, pues el conjunto es un átomo. La parte central fija (ver figura 1) se llama *neutrón*, y tiene ella sola casi todo el peso del átomo; es la materia. Se sabe que tiene pegadas alrededor unas cuantas partículas diminutas, muy livianas, de dos clases distintas: los *positrones* y los *electrones*. Y lo más interesante es que algunos de esos electrones no están pegados al núcleo central sino que están sueltos y son los que giran velozmente alrededor del centro. Hay entonces electrones fijos y móviles. En cambio los positrones son todos fijos en el núcleo.

Dijimos que el núcleo tenía casi todo el peso y que constituía la materia. Los electrones y los positrones son lo que se conoce con el nombre de *electricidad*, o por lo menos a sus propiedades. Y nótese que los electrones se mueven describiendo una órbita alrededor del núcleo y que algunos de ellos están quietos, y que los positrones son todos fijos, de manera que habrá complicadas leyes que

estudian todos los fenómenos que tienen lugar en el edificio atómico. Sin embargo, pese a que se conocen los efectos de unas y otras partículas o corpúsculos, no se puede definirlos a ellos mismos. La ciencia no ha llegado aún a una afirmación categórica en ese sentido.

Como los positrones son distintos de los electrones se los ha bautizado en forma distinta, llamando a los positrones *electricidad positiva* y a los electrones *electricidad negativa*. El número total de electrones y positrones en un átomo es el mismo, de manera que se dice que hay estado neutro por haber igual cantidad de electricidad negativa que positiva. Si se destruye ese equilibrio, ya sea por aumento o disminución de una u otra cosa, el átomo queda electrizado y el cuerpo también.

Analicemos un poco la situación. Los positrones son fijos todos, de manera que no se podrán quitar de un átomo para llevarlos a otro; esto nos dice que lo único que podremos sacar o agregar son los electrones, pero los móviles, porque los otros están fijos. De manera que si sacamos electrones sacamos electricidad negativa, quedando en predominio la positiva. Si, en cambio, agregamos electrones a un átomo aumentamos la electricidad negativa, que predominará.

En resumen, si a un cuerpo se le sacan electrones se dice que queda cargado de electricidad positiva. Si se le agregan, se carga de electricidad negativa. Si se deja como está es el estado neutro y todo pasa como si no tuviera electricidad o carga eléctrica, porque tiene igual cantidad positiva que negativa y sus efectos se anulan. Y todavía no hemos dicho nada de lo que sucede con esos electrones que hemos sacado de alguna parte para llevarlos a otra. Durante su camino originan toda clase de fenómenos, que estudiaremos separadamente.

Vemos, entonces, que habrá dos clases de fenómenos: los que derivan del hecho que un cuerpo quede con más electricidad de un nombre que del otro, o sea los que atañen a los cuerpos electrizados, y los fenómenos originados por la carrera de los electrones sueltos o libres que van de un lugar hacia otro. El estudio de los cuerpos electrizados pertenece al dominio de la *Electrostática*, y el de los electrones en movimiento a la *Electrodinámica*. Los cuerpos electrizados constituyen la *carga eléctrica* o electricidad condensada, y los electrones en movimiento constituyen la *corriente eléctrica* o electricidad en circulación. Veamos ambas cosas por separado.

Electrostática

El estudio de la Electrostática no tiene impor-

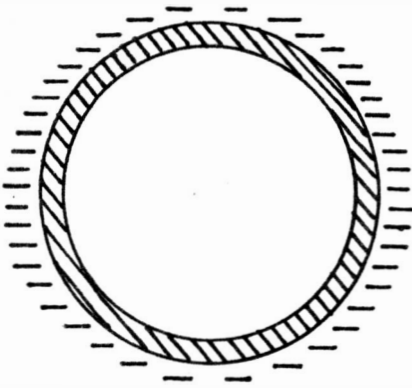


Fig. 2. — En un cuerpo las cargas eléctricas se sitúan en la periferia.

tancia fundamental en la Técnica, porque son reducidas sus aplicaciones, pero es interesante conocer sus fenómenos principales. Nos limitaremos entonces a la descripción de los hechos de interés.

Hemos dicho que hay dos clases de cargas eléctricas: las positivas y las negativas. Puestas en presencia una de otra se establece una fuerza que tiende a acercarlas, es decir, una fuerza de atracción. En cambio, si colocamos enfrentadas dos cargas del mismo nombre se rechazan. Este hecho da origen a una serie de fenómenos.

Si un cuerpo tiene cargas eléctricas y todas son del mismo signo o nombre, sucederá que se rechazarán entre sí, es decir, se repelerán tratando de alejarse unas de otras. Y si se alejan todo lo que pueden, llegarán a la superficie exterior del cuerpo. Si pueden salir se van, pero en caso contrario

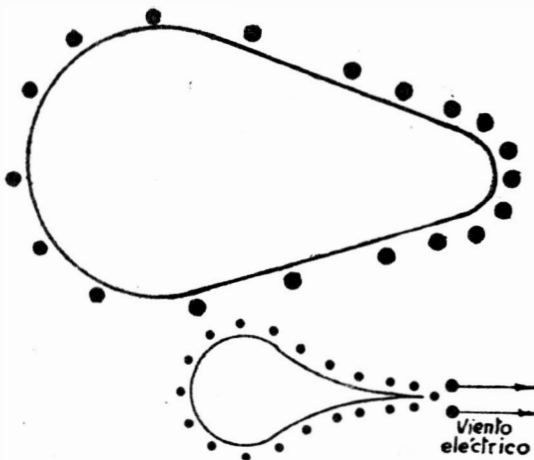


Fig. 3. — Distribución de las cargas eléctricas en la superficie de los cuerpos.

ahí quedan. El primer hecho fundamental es, entonces, que si un cuerpo retiene cargas eléctricas, ellas se ubican en su superficie exterior y no en su masa interna. La figura 2 representa esto simbólicamente, indicando las cargas en la parte exterior del tubo que hemos dibujado en corte, y al cual le atribuimos cargas eléctricas negativas. Obsérvese que en la cara interior del tubo no hay cargas eléctricas. Ellas sólo se quedan en la parte más exterior, en la cara de afuera. Lo mismo sucede si las cargas son positivas.

En la figura hemos distribuido en forma uniforme las cargas alrededor del cuerpo. Ello sucede únicamente en las esferas. Si el cuerpo tiene forma irregular, las cargas no se quedan en igual cantidad en todas partes si no que se distribuyen como se ve en la figura 3. En las partes más agudas

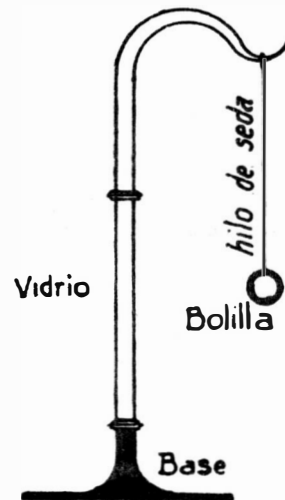


Fig. 4. — Péndulo eléctrico para comprobar la existencia y acción de las cargas.

se concentran más cargas. Y si el cuerpo tiene picos o puntas, allí se concentran gran cantidad de cargas, en tal forma que pueden llegar a expulsar del cuerpo a las que quedan más en la punta. Esa salida brusca de cargas eléctricas por un pico se llama *viento eléctrico* y tiene interés experimental únicamente, salvo una aplicación práctica de gran importancia.

Hay varios aparatos o dispositivos que se han construido para constatar la existencia de cargas eléctricas en un cuerpo. Por ejemplo, el *péndulo* que se ve en la figura 4 es uno de ellos. Está formado por una base y una columna de vidrio. De un gancho pende una bolita de saúco mediante un hilo de seda. El saúco es un material suma-

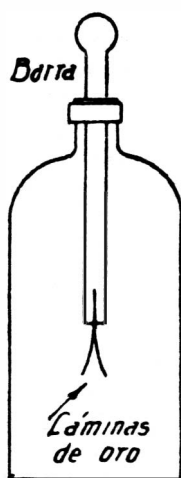


Fig. 5. — Electroscopio de hojuelas de oro.

mente liviano. Si se acerca el péndulo a un cuerpo electrizado, la esferita será atraída por el cuerpo.

Otro aparato más perfecto es el *electroscopio* de hojas de oro, que se ilustra en la figura 5. Consta de una barra metálica con una esfera en un extremo y dos hojuelas o láminas de ínfimo espesor en el otro. El conjunto está contenido en una botella. Tocando con la esfera en un cuerpo electrizado las cargas eléctricas irán a las hojuelas y ambas quedarán cargadas con electricidad del mismo signo, por lo que se repelerán. Se ve que se abren formando un ángulo, y tanto más cuanto mayor sea la carga eléctrica que había. Los dos aparatos descriptos tienen aplicación en los laboratorios de Física, aunque su mayor utilidad es de carácter didáctico, para ilustración de las clases en la enseñanza.

Potencial eléctrico

Colocando un cuerpo electrizado en un lugar cualquiera, se produce en todo el espacio que rodea al cuerpo una serie de fenómenos. Cualquier partícula pequeña que se coloque es atraída hacia el cuerpo, lo que evidencia que en esa zona actúan fuerzas. Donde hay fuerzas que obran sobre cuerpos puede desarrollarse trabajo. Observemos que estamos en presencia de un caso donde podemos aplicar el concepto de energía potencial. En efecto, hay fuerzas disponibles, luego hay capacidad de producir trabajo y eso es precisamente la energía potencial: la capacidad de producir trabajo.

Y si se piensa que a medida que nos colocamos más cerca del cuerpo electrizado las fuerzas tienen que ser mayores, por lógica vemos que la energía

potencial que hay disponible será distinta en cada parte. (figura 6). Será mayor cerca del cuerpo y menor si nos alejamos. Aclarando, diremos que las fuerzas que actúan sobre un trocito de materia que coloquemos para que sea atraído, serán tanto mayores cuanto más nos acerquemos al cuerpo. Esto no es difícil de comprender de manera que tampoco lo será la definición anterior: la energía potencial en diversos puntos cerca de un cuerpo electrizado es distinta para cada punto, salvo para los que están a igual distancia del cuerpo.

Para poder fijar ideas y determinar o establecer el valor de la energía potencial en cada punto se introduce un concepto que tiene importancia fundamental en el estudio de la electricidad: el *potencial eléctrico*. Tomemos una carga eléctrica a la cual le asignamos el valor uno y coloquemosla en esa zona electrizada. Esto de asignar el valor uno es puramente convencional y lo aclararemos a fin de evitar confusiones. La carga eléctrica está formada por electrones o positones, que son extremadamente pequeños, por lo que resultaría incómodo referirnos a un electrón. Por eso, se ha convenido que una agrupación de poco más de 6 trillones de electrones se considera una *unidad de carga eléctrica* y se llama 1 Coulomb. No hay que preocuparse de la cifra astronómica que antecede, porque el electrón es una partícula absolutamente pequeña. Exactamente 6,29 trillones de electrones forman una unidad de carga eléctrica. Ahora bien, tomamos esa carga eléctrica y la colocamos en el campo eléctrico o zona de influencia del cuerpo electrizado. Esta carga será atraída o rechazada, por lo que se pondrá en juego un trabajo. Esa cantidad de trabajo puede ser calculada, pues sabemos por la Física que es igual al producto de la fuerza actuante por la distancia recorrida. Admitiremos o convendremos en llamar potencial del punto en el cual colocamos la carga, al valor de ese trabajo.

De manera que cuanto mayor sea el potencial de un punto, mayor será el trabajo que podrá ponerse en juego y mayor será la energía potencial del punto. Es muy importante asimilar esta

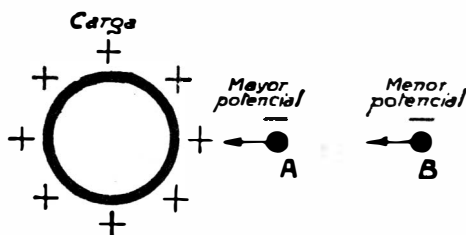


Fig. 6. — Acción del campo eléctrico sobre las cargas.

primera definición, porque así se comprenderá la que sigue.

Tomemos ahora dos puntos distintos del campo eléctrico y elijámoslo de manera que estén a diferente distancia del cuerpo electrizado, para que tengan distinto potencial, (figura 6). Es evidente que si tienen distinto potencial uno lo tendrá mayor y otro menor. A la diferencia entre el potencial de uno de ellos y del otro se le llama *diferencia de potencial o tensión eléctrica*. La importancia de esta nueva definición se comprenderá enseguida. Si colocamos una carga eléctrica en el punto que está a mayor potencial de los dos, esa carga será desplazada por las fuerzas actuantes hacia el punto que está a menor potencial. Luego, basta que entre dos puntos de una zona electrizada haya una diferencia de potencial, es decir, una *tensión*, para que se origine un movimiento de cargas eléctricas desde el primer punto hacia el segundo.

Recordemos ahora lo que dijimos al principio: el movimiento de partículas eléctricas era lo que se conoce por *corriente eléctrica*, de manera que si entre dos puntos hay tensión eléctrica circulará una corriente eléctrica. Cuanto mayor sea esa tensión mayor será la corriente. Dicho de otra manera, cuanto más grande sea la diferencia de potencial entre dos puntos mayor será la cantidad de electrones impulsados desde un punto hacia el otro, y precisamente desde el de mayor potencial hacia el menor. Se ve inmediatamente que esto es sumamente útil y fundamental.

El potencial eléctrico o la diferencia de potencial se miden en Volt, es decir que a la unidad se la llamó Volt. Esto indica que si el transporte de una carga de un Coulomb desde un punto hasta otro desarrolla un trabajo de una unidad, la diferencia de potencial entre esos dos puntos vale un Volt.

Influencia eléctrica

En todas las zonas vecinas de un cuerpo se ponen de manifiesto las fuerzas eléctricas, capaces de atraer o rechazar a las pequeñas cargas que acerquemos, según su signo. Supongamos que acercamos un cuerpo neutro, o sea no electrizado, a un cuerpo cargado de electricidad, como se ve en la figura 7. El cuerpo cargado se llama inductor y si su carga es fuerte, al acercar el otro le va a hacer sentir su influencia arrancando electrones de los átomos superficiales y atrayéndolos. Es decir que el segundo cuerpo que llamamos inducido quedará electrizado por mitades, pues en la zona más cercana al inductor aparecerán cargas de sentido contrario a las de éste por la atracción ejercida sobre ellas; y las cargas del mismo signo que las del inductor serán repelidas hacia las zonas más aleja-

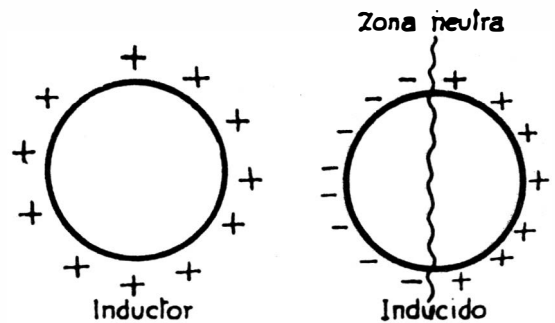


Fig. 7. – Electrización por influencia.

das. Se puede distinguir una franja de separación entre las dos zonas cargadas, que se llama zona neutra.

Al fenómeno descrito se lo llama electrización por influencia o inducción eléctrica, y es tanto más notable cuanto mayor sea la carga del cuerpo inductor y cuanto más cerca se coloque al cuerpo inducido. El tamaño del cuerpo también tiene importancia, puesto que siendo más grande habrá mayor cantidad de átomos en los cuales se puede destruir el equilibrio eléctrico interno, desprendiendo electrones.

Electricidad atmosférica

Así como un cuerpo electrizado puede ejercer su influencia sobre otro, así la tierra suele presentar zonas con acumulación de cargas eléctricas, la mayor parte de las veces negativas. Las nubes próximas son grandes masas en las que la tierra ejerce influencia eléctrica y en consecuencia aparecen en ellas cargas positivas. Las acumulaciones de cargas pueden ser muy grandes, al extremo que se producen descargas entre la tierra y las nubes.

Para encauzar tales descargas, llamadas rayos, ya que a su paso queman y destruyen cuanto objeto encuentran, se trata de aprovechar el hecho de la descarga por las puntas, colocando salientes agudos llamados *pararrayos* cuya idea original se debe a Benjamín Franklin.

El pararrayo no es otra cosa que una barra o caño metálico colocado en posición vertical y unido íntimamente a la tierra por medio de chapas enterradas en lugares húmedos. En el otro extremo se le colocan varias puntas de metales inoxidables, para que puedan conducir las cargas eléctricas.

La antigua creencia de que los rayos caían a la tierra se debió a que un instante antes de producirse la descarga, la elevada diferencia de potencial actuante produce una electrización de los átomos del aire, fenómeno que se va corriendo desde el

extremo positivo (nube) del campo, hacia el extremo negativo (tierra). Una vez electrizado el aire se produce el rayo, descarga de electrones, que van del potencial negativo al positivo, ya que son cargas negativas. En consecuencia, generalmente el rayo va de la tierra a la nube.

Capacidad eléctrica. Capacitores

Si en los dos cuerpos citados en la figura 7 se desea mantener la carga eléctrica, bastaría tocar con un alambre unido a tierra la parte positiva del cuerpo inducido, con lo cual se escaparían las cargas de ese signo. Queda así un cuerpo cargado positivamente y el otro negativamente.

Pero lo mismo se puede conseguir si se unen los dos cuerpos a puntos que estén a distinto potencial en el campo eléctrico, es decir que entre ellos haya una diferencia de potencial. Se comprueba que en esos cuerpos se acumula una carga eléctrica superficial de distinto signo en ambos. Esa carga superficial recuerda la condensación de la humedad del aire sobre los vidrios de las ventanas, por cuya similitud se llama condensación y al par de cuerpos se le da el nombre de *condensador o capacitor*. La propiedad de acumular cargas eléctricas se llama *capacidad o capacitancia*.

Para conseguir mejores resultados se construyen los dos cuerpos en forma de placas, colocándolas paralelas y muy próximas, como se ve en la figura 8. Las placas se llaman *armaduras* del capacitor, y se conectan mediante alambres conductores a los dos puntos entre los cuales hay una diferencia de potencial.

Tomemos entonces dos placas metálicas (ver figura 8) y coloquémoslas paralelamente a cierta distancia e , una de otra, lo más cerca posible. Si colocamos este conjunto que se llama capacitor en una zona electrizada, de modo que una de las placas quede en un punto a mayor potencial que la otra, se condensarán cargas eléctricas en las superficies enfrentadas S , y tanto más cuanto más grandes sean ellas.

Entre las dos armaduras hay una diferencia de potencial o tensión y cuanto más grande sea, mayor cantidad de cargas se acumularán en el capacitor. De modo que hay dos factores que intervienen en el hecho de acumular o condensar cargas eléctricas: la construcción del capacitor en sí y la mayor o menor tensión que haya entre las dos placas. (Hacemos notar aquí que usamos la palabra tensión en lugar de otra que erróneamente, por vicio de dicción, se ha generalizado: voltaje. Es la misma diferencia que habría si a la distancia se la llamara metraje, al peso kilaje, a la temperatura gradaje, etc.).

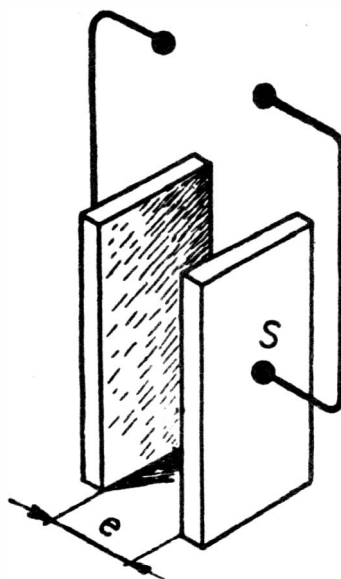


Fig. 8. — Esquema de un capacitor.

A la mayor o menor facilidad que tiene un capacitor para acumular cargas eléctricas, debido a su construcción, se le llama *capacidad o capacitancia*. Esta capacidad se mide en Farad, o también en su millonésimo, el microfarad (μF). La tensión eléctrica se mide en Volt. Luego la carga eléctrica capaz de acumular un capacitor estará dada por el producto de la tensión por la capacidad:

$$Q = CE$$

Donde hemos llamado Q a la carga eléctrica o cantidad de electricidad, que sabemos se mide en una fabulosa cantidad de electrones como unidad, y que se llama Coulomb. C es la capacidad, medida en Farad y E la tensión eléctrica, medida en Volt. Aclaremos, para fijar ideas. Si un capacitor determinado, es capaz de acumular 6,29 trillones de electrones (esto es un Coulomb), cuando entre sus placas hay una tensión de 1 Volt, ese condensador tiene una capacidad de 1 Farad. Su acumula 2 Coulomb tiene 2 Farad, etc. Si la tensión eléctrica entre las armaduras es mayor acumulará mayores cargas.

Acoplamiento de capacitores

En la Técnica se presentan dos casos en la utilización de capacitores, que obligan a utilizar varios unidos o conectados entre sí. El primero de esos casos es cuando se desea tener una capacidad grande, lo que obligaría a emplear armaduras o placas de gran superficie y se complicaría la construc-

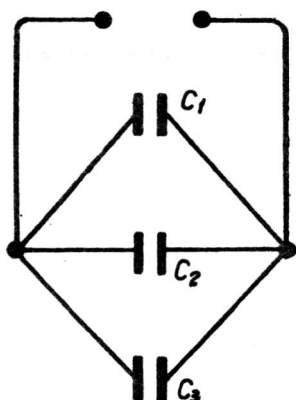


Fig. 9. - Capacitores en paralelo.

ción. Para evitarlo, se unen varios capacitores en paralelo, según se ve en la figura 9. En esta forma la capacidad aumenta, pues la capacidad total del conjunto es la suma de las de todos los capacitores acoplados.

De manera que si se toman varios capacitores y se unen entre sí los extremos de un lado y los del otro, la conexión se llama *en paralelo*, y la capacidad que resulta es igual a la suma de las capacidades de todos los conectados. Así en el caso de la figura, llamando C_1 , C_2 y C_3 a las capacidades de los tres capacitores que hemos acoplado en paralelo, se tiene que la capacidad total resultante vale:

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

Y si, por ejemplo, el primero tiene $20 \mu\text{F}$, el segundo 30 y el tercero 50 , la capacidad total resulta:

$$C_t = 20 + 30 + 50 = 100 \mu\text{F}$$

Es decir, que se tiene una capacidad total de 100 microfarad, con tres capacitores más pequeños.

El otro caso que se presenta es el de *acoplamiento en serie* y sucede cuando un capacitor

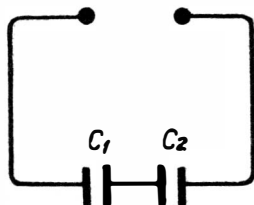


Fig. 10. - Capacitores en serie.

no soporta la tensión a que debe ser conectado. Por ejemplo, tenemos un capacitor que especifica una tensión de trabajo de 500 Volt y debemos conectarlo a 800 Volt. La solución es conectar dos en serie, iguales, como se ve en la figura 10. Se llama en serie porque si se imagina un recorrido, se pasa sucesivamente por cada uno de ellos. En esta forma, si conectamos ese conjunto a una tensión de 800 Volt, a cada uno le tocarán 400 V, pues la tensión se reparte entre todos los conectados en serie. Pero, en cambio, la capacidad del conjunto se reduce a la mitad de la que tenía un capacitor. En efecto, la capacidad total de dos capacitores conectados en serie, si tienen capacidades que llamaremos C_1 y C_2 , se calcula con la expresión:

$$C_t = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Y si los dos capacitores tienen igual capacidad, y aplicamos nuestros conocimientos de Álgebra a la fórmula dada, resulta que la capacidad total C_t , si llamamos C a la de cada capacitor, ya que son iguales, se calcula así:

$$C_t = \frac{C}{2}$$

De manera que para calcular la capacidad total de dos capacitores cualesquiera acoplados en serie hay que multiplicar las dos capacidades, luego

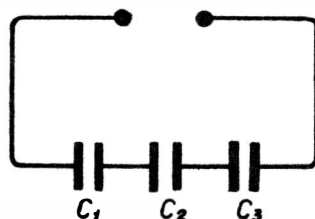


Fig. 11. - Capacitores en serie.

sumarlas, y dividir el producto por la suma. Si los dos capacitores son iguales, basta dividir la capacidad de uno de ellos por 2 .

Por ejemplo, si se tienen dos capacitores de 20 y $60 \mu\text{F}$ respectivamente, acoplados en serie (figura 10), la capacidad resultante será:

$$C_t = \frac{20 \times 60}{20 + 60} = \frac{1200}{80} = 15 \mu\text{F}$$

Pasemos ahora al caso de más de dos capacitores acoplados en serie, como el ilustrado en la

figura 11, que tiene 3, por ejemplo. La forma de resolver simplemente el problema es calcular la capacidad resultante de los dos primeros, el 1 y el 2; luego la capacidad que resulta entre el valor obtenido y el tercero, y así sucesivamente si hubiera más de 3. Por ejemplo, supongamos que en el caso de la figura 11, el primer capacitor, C_1 , tenga $60 \mu\text{F}$, el segundo $20 \mu\text{F}$ y el tercero $5 \mu\text{F}$. Calculamos previamente los dos primeros:

$$C = \frac{60 \times 20}{60 + 20} = \frac{1200}{80} = 15 \mu\text{F}$$

Y ahora pasamos a calcular la capacidad resultante entre los $15 \mu\text{F}$ que nos resultaron y el tercer capacitor, de $5 \mu\text{F}$:

$$C_t = \frac{15 \times 5}{15 + 5} = \frac{75}{20} = 3,75 \mu\text{F}$$

Que es la capacidad resultante de los tres capacitores. Si todos los capacitores son iguales, basta dividir el valor de uno de ellos por el número de los que están conectados.

La corriente eléctrica

Hemos dicho que el transporte o la circulación de cargas eléctricas a través de los cuerpos era lo que se llamaba corriente eléctrica. Un cierto número de electrones, ya que no pueden ser positivos, se traslada de un lugar a otro dentro de un cuerpo. Para que se realice el traslado sabemos que es menester que entre los extremos haya una diferencia de potencial o tensión eléctrica. Veremos en esta ocasión en qué condiciones se realiza el transporte, y cómo se comportan los diferentes cuerpos al paso de la corriente.

Conducción de la electricidad.

Los cuerpos se comportan de muy diferente manera unos de otros, con respecto al pasaje de la corriente eléctrica. Los hay que la dejan circular con más facilidad que otros; los hay que apenas dejan circular muy pequeña cantidad. A los efectos de tal propiedad, se puede dividir a los cuerpos en dos clases distintas: conductores y aisladores.

Son cuerpos conductores aquellos que ofrecen menor dificultad al pasaje de las cargas eléctricas por su masa. Entre los conductores se encuentran los metales, aunque algunos son mucho mejores conductores que otros.

Son cuerpos aisladores los que ofrecen gran dificultad al pasaje de la corriente. En general, los cuerpos no metálicos (metaloides) son buenos

aisladores. Entre ellos los hay de gran propiedad aislante. Algunos de ellos se emplean en la Técnica precisamente por esa propiedad.

Prácticamente el mejor cuerpo conductor es el cobre, lo que explica el que se utilice tanto como conductor en las innumerables aplicaciones de la electricidad. Allí donde sea necesario que circule corriente eléctrica, se la hará pasar por un alambre o una barra de cobre. En otras aplicaciones no interesa tanto la gran facilidad de conducción, como en los calentadores, por ejemplo, y se emplean otros metales de distintas propiedades.

Cuando se desea que la corriente circule por un lugar, pero solamente por ese, hay que evitar que se escape por los sitios donde el cuerpo se apoya en sus bases. Para tal fin las bases se harán de materiales malos conductores o aislantes, como la porcelana, el mármol, etc. Otras veces se envuelve a todo el conductor con una capa de material aislante, como es el caso de los cables eléctricos; dentro está el conductor de cobre, y fuera la envoltura de goma, algodón, seda, etc., buenos aislantes.

Más adelante aprenderemos a distinguir a los cuerpos conductores por un número que mide precisamente la mayor o menor dificultad para conducir cargas eléctricas. Lo mismo puede hacerse con los aisladores. Lo importante, por ahora, es comprender que la conducción de la electricidad por los cuerpos depende de la substancia de que están hechos.

Entraremos ahora en las definiciones fundamentales que se refieren a la circulación de electricidad por los cuerpos, especialmente por los conductores, ya que por los aisladores puede aceptarse que casi no pasa corriente eléctrica.

Intensidad de corriente

Por un conductor circula corriente eléctrica, y eso significa que pasarán una gran cantidad de electrones desde un extremo hacia el otro. Claro está que esa infinidad de electrones puede pasar en un segundo, en una hora, en un año, etc. Para tener una idea de cómo es esa corriente que está circulando, para saber si es intensa o es débil, hay que especificar la cantidad de electricidad que pasa en un segundo, por ejemplo. Así, se dirá, por aquí pasa una cantidad de 40 trillones de electrones por segundo. O mejor aún, conviene expresar la cantidad de electricidad en Coulombs, que es la unidad más práctica, y diremos que por aquel conductor pasaban 6 Coulombs más o menos en un segundo. Comparando esta corriente eléctrica con otra sabremos si es más o menos intensa.

Ahora bien, a la cantidad de electricidad que pasa por un conductor en un segundo, se la llama *intensidad de corriente*, pues sirve para saber lo intensa que es esa corriente precisamente. La intensidad de corriente se mide en *Amper*. Para tener una idea de lo que es un Amper, diremos que es una corriente capaz de provocar un depósito químico de 1,118 miligramos de plata al pasar por un baño de nitrato de plata. Si al pasar la corriente por ese baño deposita esa cantidad de plata en un segundo, se dice que tiene una intensidad de 1 Amper (abreviado 1 A). Y así sucesivamente se tendrán corrientes de intensidades de varios Amper, etc. (Hay que observar que la intensidad de corriente, o simplemente la intensidad, es lo que se conoce vulgarmente con el nombre de "amperaje", por idéntico defecto que se cometería al llamar kilaje al peso, etc.).

Resistencia eléctrica

Hemos dicho que los cuerpos ofrecían una cierta dificultad al pasaje de la corriente. Esa resistencia se puede medir con un número, si se hacen ciertas convenciones. Por lo pronto sabemos que para que circule corriente eléctrica por un cuerpo es necesario que entre sus extremos haya tensión eléctrica. Ahora bien, a la dificultad que ofrece ese cuerpo a la circulación de las cargas, se llama resistencia eléctrica. Veamos cómo simbolizamos esas dos cosas.

La figura 12 representa un circuito eléctrico, así llamado todo cuerpo o conjunto de cuerpos por los que circula corriente eléctrica. Dos puntos gruesos simbolizan los extremos del circuito entre los cuales se halla presente una diferencia de potencial o tensión. Vemos que uno lo hemos marcado con el signo + y el otro con el -. Eso quiere decir que a un extremo del circuito lo llamaremos: *polo positivo* y al otro *polo negativo*. La corriente que circula entre los dos polos la llamamos I (inicial de intensidad).

Se acepta convencionalmente que la corriente circula desde el polo positivo hacia el negativo. Por ahora no nos detendremos a considerar cómo se hace para que haya tensión entre los dos puntos o polos, porque para aceptarlo así no hay más que pensar en cualquier tomacorriente de nuestra instalación domiciliaria. En él vemos dos agujeros que constituyen nuestros "polos". Entre estos dos polos hay una tensión eléctrica conocida (220 Volt en muchos casos). Si unimos los dos polos con un conductor, circulará corriente eléctrica (hay que cuidar de no hacer la prueba de que esto es cierto hasta más adelante, cuando veamos cuánto vale esa corriente).

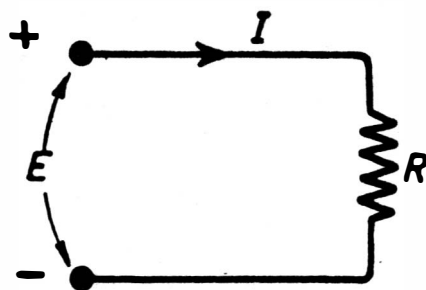


Fig. 12. - Circuito eléctrico elemental.

El cuerpo que está colocado entre los dos polos será un conductor, que podrá tener cualquier forma. Puede ser arrollado, como en el caso de las lámparas eléctricas, las planchas, calentadores, etc. No interesa la forma que tenga, pues lo que debemos tener en cuenta es que ese conductor ofrece una cierta dificultad al pasaje de la corriente, y que por lo tanto constituye una resistencia eléctrica. Entonces lo dibujamos con una línea quebrada, como se ve en la figura, y le colocamos la letra R , símbolo usado siempre para designar la resistencia eléctrica.

Tenemos ahora un circuito completo. Hay dos polos, entre los cuales hay una diferencia de potencial E , medida en Volt. Hay un conductor intercalado entre los dos polos, que designamos R , y que adelantaremos que se mide en Ohm, y circula una corriente de intensidad I , medida en Amper.

Ley de Ohm

Esta ley permite calcular cualquiera de las tres cantidades típicas del circuito E , I ó R , conociendo dos de ellas. Originalmente se expresa diciendo que la intensidad de corriente en el circuito es tanto mayor cuanto más grande sea la tensión E , y cuanto menor sea la resistencia R . Esto se expresa mediante una fórmula, así:

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

De modo que para calcular la intensidad, basta dividir la tensión por la resistencia.

Vemos enseguida que la resistencia eléctrica debe poderse expresar mediante un número, para poder emplearlo en la ley de Ohm. Si aplicamos el Álgebra a la fórmula anterior, sacamos otras dos, distintas:

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

$$E = I R$$

Que dicen lo siguiente: la resistencia eléctrica es igual al cociente entre la tensión y la intensidad. La segunda fórmula dice: la tensión es igual al producto de la intensidad de corriente por la resistencia eléctrica del circuito.

Analicemos la fórmula que da R . Si tenemos un circuito y podemos medir la tensión aplicada, es decir, la que hay entre los dos polos (para esto se emplean los voltímetros) y además conocemos o medimos la intensidad de corriente (se usa un amperímetro) bastará dividir esas dos cantidades para saber cuanto vale la resistencia eléctrica del circuito. Y habremos conseguido expresarla mediante un número, seguido de la palabra Ohm, que es el nombre de la unidad. Por ejemplo, en un circuito hay una tensión de 220 Volt, y circula una corriente de 11 Amper de intensidad. Calculémos:

$$R = \frac{220}{11} = 20 \Omega$$

Quiere decir que ese circuito ofrece una resistencia de 20 Ohm (la palabra Ohm se abrevia con la letra griega Ω omega).

Supongamos ahora que un circuito tiene una resistencia eléctrica de 4 Ω y está unido a dos polos entre los cuales hay una tensión de 20 V. Calculemos la intensidad de la corriente que circulará:

$$I = \frac{20}{4} = 5 \text{ A}$$

Es decir que por el circuito circulará una intensidad de 5 Amper. En esta forma se pueden resolver todos los problemas atinentes a circuitos eléctricos con facilidad.

Calculo de la resistencia

Un conductor cualquiera ofrece una resistencia al paso de la corriente. El valor de la misma se puede calcular por medio de la ley de Ohm, pero hay métodos analíticos para ello de más fácil aplicación. En efecto, piénsese que se toma un conductor, de forma cilíndrica, un alambre por ejemplo. Cuanto más largo sea, mayor será la dificultad ofrecida a la circulación de la corriente, y cuanto más grueso sea, más fácil circulará dicha corriente. De manera que no hace falta más que conocer la resistencia que tiene un trozo de alambre de ciertas dimensiones para saber enseguida cual será la que tiene otro trozo de ese mismo material, pero de distintas dimensiones.

Prácticamente se ha tomado como referencia un trozo de un metro de largo y un milímetro cuadrado de sección transversal. La resistencia que

ofrece un pedazo de alambre de esas medidas se llama *resistencia específica* o *resistividad* de la substancia, y se da en tablas como la adjunta para los conductores más comunes.

Resistividad de algunos conductores

Conductor	Resistividad
Aluminio	0,026
Cobre	0,0175
Constantán.	0,5
Estaño.	0,12
Hierro	0,12
Maillechort.	0,45
Manganina.	0,42
Níquel.	0,12
Niquelina.	0,4
Nicrom	1,2
Plata	0,016
Plomo	0,21
Tungsteno	0,06
Zinc	0,06

Conociendo la resistividad del conductor que se emplea, para calcular la resistencia basta multiplicarla por la longitud, tomada en metros, y dividirla por la sección, tomada en milímetros cuadrados, es decir:

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

Donde con la letra griega ρ (ro) se designa a la resistividad, l es la longitud del conductor tomada en metros y S la sección en mm^2 . Por ejemplo (ver figura 13), sea un alambre de cobre de 150 m de largo y 4 mm^2 de sección. En la tabla encontramos la resistividad, que vale 0,0175; calculemos:

$$R = \frac{0,0175 \times 150}{4} = 0,65625 \Omega$$

De modo que la resistencia eléctrica de ese alambre vale 0,65625 Ohm. Y en esta forma se cal-

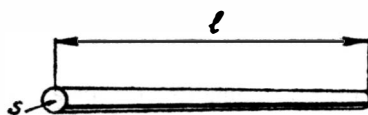


Fig. 13. — Dimensiones de un conductor.

cula la resistencia de cualquier conductor, conociendo sus dimensiones.

Acoplamiento de resistencias

En los circuitos eléctricos se presentan casos de conexión de varias resistencias, lo que se llama agrupamiento o acoplamiento de resistencias. Ya hemos visto, en el caso de los capacitores, que había dos formas de acoplar elementos: en serie y en paralelo. Con las resistencias pasa lo mismo, se pueden conectar en serie o en paralelo. Ya sabemos que una resistencia puede ser una lámpara, un artefacto calentador, un alambre conductor, en fin, cualquier conductor eléctrico que se halle insertado en el circuito, sin interesar su forma o tamaño.

Veamos primeramente el caso de acoplamiento *en serie*, que está ilustrado en la figura 14. Las distintas resistencias están conectadas de tal modo que la corriente eléctrica recorre una a una, y sucesivamente. En la figura se ven tres resistencias, y suponiendo que la corriente entra por el extremo, borne o polo de la izquierda (la flecha indica eso, precisamente) primero pasará por la resistencia R_1 , después por la 2 y finalmente por la 3, para llegar al polo o extremo de la derecha.

Es evidente que si cada resistencia opone una dificultad al paso de la corriente, el conjunto ofrecerá una dificultad mayor, de manera que los efectos de cada resistencia se suman entre sí. Luego, el circuito en conjunto ofrecerá una resistencia total que es igual a la suma de los valores de todas las resistencias conectadas. Matemáticamente se puede expresar así:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

Que dice que la resistencia total del circuito es igual a la suma de las resistencias acopladas. Lo mismo se calcula para dos, cuatro o cualquier cantidad de resistencias. Si por ejemplo, la R_1 vale 25 Ω , la R_2 vale 15 Ω y la tercera 40 Ω , la resistencia total será:

$$R_t = 25 + 15 + 40 = 80 \Omega$$

Consideremos ahora el *acoplamiento en paralelo*, que está ilustrado en la figura 15. Los extre-

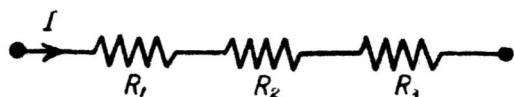


Fig. 14. -- Resistencias en serie.

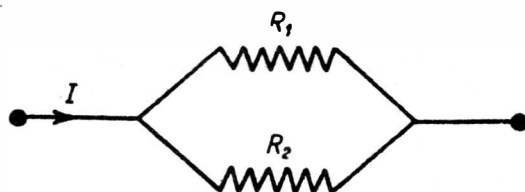


Fig. 15. -- Resistencias en paralelo.

mos de las dos resistencias están unidos entre sí, de modo que si suponemos que la corriente proviene del polo de la izquierda al llegar al punto de unión de las dos resistencias se debe bifurcar, pues encuentra dos caminos para circular. Es evidente que si hay dos caminos en vez de uno, habrá menor dificultad que se oponga a su paso, luego el conjunto ofrece menor resistencia que cada una por separado. Y cuanto más resistencias se acoplan en paralelo, menor será la resistencia total.

Para calcular el valor de la resistencia total del circuito, también llamada resistencia *equivalente* o *reducida*, se procede en la siguiente forma:

$$R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Es decir que hay que hacer el producto de las dos resistencias, luego la suma de las mismas, y dividir el producto por la suma. Si por ejemplo tenemos dos resistencias de valores $R_1 = 60 \Omega$ y $R_2 = 20 \Omega$, calcularemos la resistencia total del circuito, así:

$$R_t = \frac{60 \times 20}{60 + 20} = 15 \Omega$$

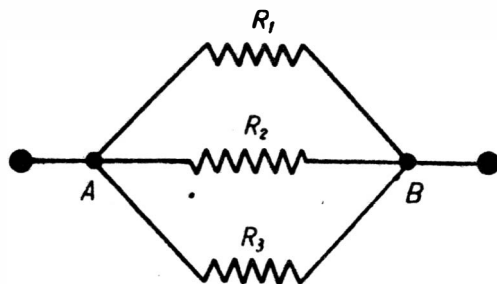


Fig. 16. -- Resistencias en paralelo.

Supongamos ahora que se trate de más de dos resistencias acopladas en paralelo, tres por ejemplo, como se ve en la figura 16. Entre un extremo y el otro se encuentran tres caminos a la cir-

culación de la corriente. El punto *A* está formado por la unión de un extremo de cada resistencia. El *B* por la unión de sus respectivos otros extremos. Para resolver el problema resulta muy simple considerar primero dos resistencias solas, las dos de arriba, por ejemplo, y luego la resultante de esa se calcula acoplada con la de abajo. Es decir, que tomaríamos el cálculo de R_1 y R_2 acopladas en paralelo. El resultado de esas dos lo acoplamos en paralelo con R_3 . Y si hubiera más resistencias seguiríamos de esta manera; el resultado de las dos primeras con la tercera lo acoplaríamos con la cuarta, etc. El último resultado obtenido es el valor de la resistencia total o equivalente del circuito completo.

Supongamos, por ejemplo, que se acoplan tres resistencias según la figura 16. R_1 vale 40 Ω , R_2 vale 10 Ω y R_3 12 Ohm. Calculemos la resistencia total del circuito. Primero calculamos la equivalente a las dos primeras:

$$R = \frac{40 \times 10}{40 + 10} = \frac{400}{50} = 8 \Omega$$

Ahora la resultante de las dos primeras se acopla con la tercera:

$$R_t = \frac{8 \times 12}{8 + 12} = \frac{96}{20} = 4,8 \Omega$$

Que es la resistencia total del circuito, ya que no había más que tres acopladas.

Un caso particular interesante del acoplamiento de resistencias en paralelo es cuando todas las resistencias son iguales. Por medio de Algebra

se demuestra fácilmente que la resistencia total es igual al valor de una dividida por la cantidad de ellas, pero también se comprenderá esto intuitivamente. Si tenemos, por ejemplo, tres resistencias acopladas como se ve en la Fig. 16. y cada una de ellas tiene el mismo valor R , sin subíndices, ya que no hace falta diferenciarlas, sucede lo siguiente:

La corriente llega al punto *A*, de unión, y encuentra tres caminosiguales, cada uno de los cuales le ofrecería, si estuviera solo, una resistencia R . Es lógico que si hay tres caminos, la dificultad será sólo la tercera parte, es decir que la resistencia eléctrica del conjunto será sólo la tercera parte del valor que tiene cada una. Y lo mismo si fueran cuatro, se tendría la cuarta parte, y en general, si R es el valor de una resistencia y n es el número de resistencias acopladas en paralelo, la resistencia total del circuito vale:

$$R_t = \frac{R}{n}$$

Supongamos, por ejemplo, que se tienen 6 resistencias de 30 Ohm cada una, acopladas en paralelo. El valor de la resistencia total o equivalente del circuito será:

$$R_t = \frac{30}{6} = 5 \Omega$$

Y de la misma manera se resolverían problemas con cualquier número de resistencias iguales conectadas en paralelo.

Día 2

Ya hemos visto la forma cómo se producen cargas eléctricas y cómo estas pueden circular por los conductores constituyendo la corriente eléctrica. También la acumulación de cargas en un capacitor y el comportamiento de los cuerpos que ofrecen resistencia al paso de la corriente. Todo ello forma la base que necesitaremos más adelante para comprender ciertos fenómenos y poder evaluarlos, de modo que es indispensable que esos temas hayan sido comprendidos perfectamente. Conviene también insistir en la importancia de las unidades que se emplean para poder expresar cualquiera de las magnitudes que hemos definido, pues en los cálculos que son necesarios en nuestra materia las usaremos continuamente. Ahora debemos continuar con nuestro tema y abordaremos una interesante jornada en la cual nos ocuparemos de la energía eléctrica, es decir de la forma como la electricidad puede producir trabajo, apreciando además la cantidad que puede obtenerse según los factores en juego. También encontraremos nuevas unidades en esta oportunidad y tenemos que insistir en la importancia que tiene el conocerlas bien y el saber usarlas. Con este somero análisis previo podemos dedicarnos al tema fijado para la presente jornada, que es la segunda de nuestro plan.

ENERGIA ELECTRICA

En el capítulo anterior dijimos que en toda la zona alrededor de un cuerpo electrizado se manifestaban fuerzas capaces de producir trabajo. Había entonces energía potencial, o sea energía almacenada lista para desarrollar trabajo. Donde haya cargas eléctricas hay energía y el problema consiste en saber cuánto hay, qué valor tiene esa energía o el trabajo que ella puede producir.

Sabemos por Física que el trabajo estaba dado por el producto de una fuerza por una distancia, luego se tenía Kg por m, o sea Kilográmetros (Kgm). Veremos ahora cómo se expresa el trabajo eléctrico, o sea el trabajo desarrollado por fuerzas de origen eléctrico.

Volvamos al campo eléctrico, y recordemos que habíamos dicho que el trabajo que se desarrolla en el transporte de un Coulomb lo llamábamos potencial eléctrico. Sin ninguna dificultad pode-

mos calcular el trabajo que se desarrollará por el transporte de una cantidad cualquiera de electricidad, pues si para llevar 1 Coulomb se gasta un trabajo igual al potencial, para llevar una cantidad Q Coulomb, el trabajo será Q veces mayor. En resumen, si E es el potencial, o la diferencia de potencial entre los puntos de transporte de una carga de Q Coulomb, el trabajo puesto en juego, o la energía eléctrica desarrollada valdrá:

$$T = E Q$$

Es decir, el producto de la tensión E , tomada en Volt, y la carga o cantidad de electricidad Q , tomada en Coulomb.

Pero recordemos la definición de intensidad de corriente eléctrica. Dijimos que era la carga eléctrica que circulaba por segundo. Luego, si nuestra cantidad Q Coulomb ha circulado en un tiempo t

segundos, puede decirse que será igual al producto de la intensidad (Amper) por el tiempo (segundos). En lugar de Q , en la fórmula, podemos poner el producto de I por t . Se tiene así:

$$T = E I t$$

Y tendremos la expresión más práctica del trabajo eléctrico. La unidad de trabajo eléctrico es el Joule. La unidad de trabajo en Mecánica es el Kilográmetro (Kgm). La relación entre ambas unidades es la siguiente:

$$1 \text{ Kgm} = 9,81 \text{ Joule}$$

Que nos permite pasar de una clase de energía a la otra. Más adelante veremos que en la práctica se usa otra unidad, de mayor utilidad que el Joule, por ser éste muy pequeño.

Potencia eléctrica

En Física se estudia que la potencia es el trabajo desarrollado en la unidad de tiempo. Así, el trabajo que se efectúa o que se puede realizar en un segundo, se llama potencia. Si se ha gastado en total un trabajo T y se ha tardado un tiempo t en gastarlo, la potencia desarrollada vale:

$$P = \frac{T}{t}$$

De manera que conociendo el trabajo eléctrico que se ha desarrollado en t segundos no habrá ninguna dificultad en calcular la potencia eléctrica. Bastará dividir el trabajo por el tiempo. Y se ve enseguida que si dividimos a la fórmula del trabajo por el tiempo t , se elimina la t del numerador, quedándonos que la potencia es igual a:

$$P = E I$$

Es decir que la potencia es igual al producto de la tensión eléctrica por la intensidad de corriente. Como el trabajo se medía en Joule, la potencia se medirá en Joule por segundo, lo que se llama Watt. Luego la potencia, producto de la tensión en Volt, por la corriente en Amper, se mide en Watt. Por este motivo se suele llamar W en lugar de P a la potencia eléctrica, y se escribe:

$$W = E I$$

También se puede escribir, reemplazando E e I por sus equivalentes de la ley de Ohm:

$$W = I^2 R = \frac{E^2}{R}$$

Fórmulas que tienen gran valor para resolver

problemas prácticos de calcular la potencia cuando se conoce la resistencia y la tensión o la intensidad.

Unidades prácticas

Hasta aquí hemos trabajado con unidades más o menos prácticas sin considerar sus derivados, sean múltiplos o submúltiplos. Solamente mencionamos el microfarad, como millonésima parte del Farad. En la práctica se presenta una serie de casos en que se tienen cantidades muy pequeñas o muy grandes, que obligan a manejar cifras incómodas, por lo que se emplean unidades derivadas.

Para comprender enseguida el mecanismo de las unidades derivadas, daremos el significado y abreviatura de los prefijos o partículas que se acoplan al nombre de la unidad. Se tiene:

Prefijo	Abreviatura	Significa
Mega	M	1.000.000
Kilo	K	1.000
mili	m	$\frac{1}{1.000}$
micro	μ	$\frac{1}{1.000.000}$

Con estos datos es fácil saber cuánto vale cada unidad y qué relaciones hay entre ellas, a los efectos de darles el valor que les corresponde. Tomemos algunos ejemplos:

Una intensidad de corriente de 20 mA, significa 20 miliamper, y equivale a:

$$20 \text{ mA} = \frac{20}{1000} \text{ A} = 0,02 \text{ A}$$

Una tensión de 2,5 KV significa 2,5 Kilovolt y equivale a:

$$2,5 \text{ KV} = 2,5 \times 1000 \text{ V} = 2.500 \text{ V}$$

Una resistencia de 5 Megohm, se abrevia 5 M Ω y equivale a:

$$5 \text{ M}\Omega = 5 \times 1.000.000 \Omega = 5.000.000 \Omega$$

Una capacidad de 16 μF significa 16 microfarad y equivale a:

$$16 \mu\text{F} = \frac{16 \text{ F}}{1.000.000} = 0,000016 \text{ F}$$

Y así se podrían citar numerosos ejemplos. El primer caso práctico se verá en la medición de la potencia o el trabajo eléctrico de instalaciones y máquinas. Rara vez se trabaja con Watt, pues es más común el Kilowatt (KW), que vale 1000 W.

En la Mecánica se usa una unidad de potencia que es el *caballo-vapor* (C.V.) y que equivale a 75 Kgm/seg. En Electricidad, la unidad de potencia es el Watt de modo que debe haber una equivalencia para pasar de una a otra. Esa equivalencia es:

$$1 \text{ C.V.} = 736 \text{ Watt}$$

De modo que si se conoce la potencia de un motor eléctrico, por ejemplo, que es de 5 C.V., para expresarla en unidades eléctricas se debe multiplicar:

$$5 \text{ C.V.} = 5 \times 736 = 3680 \text{ W}$$

O también podríamos decir que esa potencia es de 3,68 KW, según sabemos.

Pasemos ahora a la unidad práctica de trabajo o energía eléctrica, de uso común en los servicios de distribución. Se trata del Kilowatt-hora (KWh), y su equivalencia con el Joule, unidad teórica, es fácil de obtener. Puesto que el KW vale 1000 W y la hora tiene 3600 segundos, se ve que:

$$1 \text{ KW} = 3.600.000 \text{ Joule}$$

Luego un artefacto eléctrico de 1 KW de potencia, que está conectado durante una hora, consumirá una energía eléctrica de 1 KWh. En general, se acostumbra a expresar la potencia de los artefactos comunes en Watt, y llamar al tiempo en horas h , de manera que para calcular la cantidad de Kilowatt-hora que consume cualquier artefacto se puede aplicar la fórmula:

$$\text{KWh} = \frac{\text{W h}}{1000}$$

Pongamos un ejemplo ilustrativo. Supongamos una lámpara de 100 W, de alumbrado, que está conectada durante 3 horas todos los días de un mes. Mencionamos un mes, porque es el período normal que se emplea para facturar la energía eléctrica que se consume en las casas o establecimientos. Calculamos la energía consumida por esa lámpara durante el mes, que a 3 horas diarias hacen 90 horas al mes:

$$\text{KWh} = \frac{100 \times 90}{1000} = 9$$

De manera que nuestra lámpara ha consumido 9 KWh. Para saber cuánto cuesta esa energía no hay

más que multiplicar por la *tarifa*, que es el precio de 1 KWh. Supongamos que la tarifa sea de \$ 50.— luego el costo de 9 KWh será:

$$9 \times 50 = \$ 450.—$$

Hay que aclarar que a veces se aplica un tarifa distinta para un consumo fijo llamado base, facturándose el excedente a tarifa menor. Se dice, por ejemplo, los primeros 30 KWh a la tarifa de \$ 50.— y el excedente a \$ 25.— o algo parecido. Así, si el consumo de la casa ha sido de 80 KWh en el mes, el importe a pagar será:

$$30 \times 50 = 1.500$$

$$50 \times 25 = 1.250$$

$$\text{Total \$ } 2.750$$

La fijación de la base se hace atendiendo al número de bocas que hay en el edificio, o a la superficie cubierta, o a la potencia total instalada. Cualquiera de los tres criterios se emplea, no pudiéndose afirmar cuál es el más conveniente, porque no es cuestión de elegirlo, sino de aceptar el que se utilice en el lugar de residencia. Hay ocasiones en que se tienen varias bases escalonadas, cada una con distintas tarifas.

Ejemplos prácticos

Para completar el Capítulo pongamos algunos ejemplos referentes a circuitos, que combinan las distintas leyes que se han visto, de modo que se pueda aplicar y asimilar mejor el tema antes de seguir adelante.

Ejemplo 1: *Se construye una resistencia eléctrica con un alambre de manganina, de 20 metros de largo y 0,5 mm de diámetro. Se conectará a la red de 220 Volt de tensión. Se desea saber cuál será la intensidad de corriente que circulará y cuánto vale la potencia eléctrica desarrollada.*

Solución

Sabemos que para calcular la resistencia hay que conocer la resistividad, que encontramos en la tabla (0,42 para la manganina), el largo y la sección. Esta última no la tenemos, pero si el diámetro, luego la sección vale:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,5 \times 0,5}{4} = 0,1962 \text{ mm}^2$$

Luego podemos calcular la resistencia eléctrica:

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{42 \times 20}{0,1962} = 42,8 \Omega$$

Ahora, aplicando la ley de Ohm, determinamos la intensidad de corriente que circulará una vez conectada la resistencia a una tensión de 220 V.

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{42.8} = 5,14 \text{ A}$$

Y la potencia eléctrica será:

$$W = E I = 220 \times 5,14 = 1160 \text{ W}$$

Ejemplo 2: Se desea saber qué resistencia eléctrica tiene una lámpara de alumbrado marcada con potencia 60 W, para 220 V y determinar cuál es la intensidad de corriente que la recorre cuando está conectada.

Solución

En primer lugar, y de acuerdo con la expresión de potencia eléctrica, podemos calcular la intensidad de corriente:

$$I = \frac{W}{E} = \frac{60}{220} = 0,27 \text{ A}$$

Y ahora, por medio de la ley de Ohm, hallamos la resistencia:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{220}{0,27} = 815 \Omega$$

Ejemplo 3: Se tiene un motor eléctrico cuya chapa de características indica una potencia de 20 C.V. y una intensidad de corriente de 67 A. Pero no se puede leer el valor de la tensión a que debe ser conectado. Se trata de calcularla.

Solución

Lo primero que haremos será reducir la potencia a Watt:

$$20 \times 736 = 14.720 \text{ W}$$

Y ahora, dividiendo la potencia por la intensidad, nos dará la tensión:

$$E = \frac{W}{I} = \frac{14.720}{67} = 220 \text{ V}$$

Con lo que queda contestada la pregunta. Podrían presentarse una gran variedad de problemas como los vistos, pero teniendo las fórmulas el lector puede practicar con ellas sin dificultad.

Transformación de la electricidad en calor

El paso de la corriente eléctrica por los conductores da origen a un aumento de la agitación electrónica interna, lo que se traduce en una elevación

de temperatura del conductor. Esto se aprovecha para fines prácticos haciendo que la cantidad de calor producido sea grande. Los calentadores, planchas, cocinas, etc., son otras tantas aplicaciones prácticas del calor eléctrico.

Si se tiene un alambre conductor de cierta resistencia eléctrica, recorrido por una corriente durante un cierto tiempo, la cantidad de calor que se produce es directamente proporcional a la energía eléctrica puesta en juego. Ahora bien, la unidad de energía térmica o calorífica, es decir, la cantidad de calor se mide en *calorías*, unidad que se define así: una caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua. Hay que hacer notar que se emplea la gramo caloría y la Kilo caloría, refiriéndose a un gramo o a un Kilogramo de agua, respectivamente. La dualidad se evita escribiendo caloría y Kilocaloría.

La equivalencia entre la energía eléctrica y térmica se determina mediante la *ley de Joule*, que dice que cada unidad de trabajo eléctrico produce 0,24 calorías, es decir, que si expresamos el trabajo eléctrico por el producto de la potencia y el tiempo, podemos poner

$$Q = 0,24 W t$$

Que dice que la cantidad de calorías producidas se obtiene multiplicando el coeficiente numérico 0,24 por la potencia en Watt y por el tiempo en segundos. Y es evidente que la potencia puede calcularse mediante cualquiera de sus tres expresiones ya vistas o reemplazarla directamente en la fórmula de *Q*.

Para construir calentadores eléctricos se tratará que el alambre de que están hechos tenga mucha resistencia y que la corriente que lo recorre sea de mucha intensidad, dentro de las limitaciones prácticas. Si se usan alambres muy finos, la temperatura de los mismos se eleva notablemente, alcanzándose el estado de incandescencia con vivo resplandor; son las lámparas eléctricas usuales.

Ejemplo 1: Determinar la cantidad de calor que produce la corriente eléctrica, por minuto, al recorrer una resistencia de 200 Ohm, que está conectada a una tensión de 220 Volt.

Solución

Aplicando la correspondiente fórmula de la ley de Joule donde reemplazamos *W* por el cociente entre E^2 y *R*, y teniendo en cuenta que el tiempo debe tomarse en segundos, es decir, que para este problema vale 60 segundos, se tiene:

$$Q = \frac{0,24 E^2 t}{R} = \frac{0,24 \times 220 \times 220 \times 60}{220} = 3484,8 \text{ calorías}$$

Ejemplo 2: *Averiguar cuánto tiempo necesita un calentador de 500 Watt para calentar 2 litros de agua, desde 20 hasta 80° C, si se supone un rendimiento térmico de aquél de 40 por ciento.*

Solución

La cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del agua en:

$$T = T_f - T_i = 80 - 20 = 60^\circ \text{ C}$$

Se determina mediante la fórmula dada más arriba, y teniendo en cuenta que el calor específico del agua vale 1. El peso del agua a calentar es:

$$M = 2 \text{ litros} \times 1000 \text{ g/lt} = 2.000 \text{ g}$$

Con lo que se tiene:

$$Q = M T = 2000 \times 60 = 120.000 \text{ Cal.}$$

La potencia del calentador es de 500 Watt, pero como el rendimiento es de 40%, la parte de esta potencia que se aprovecha para fines útiles será:

$$\frac{500 \times 40}{100} = 200 \text{ Watt}$$

El resto se gasta en producir calor de irradiación, en calentar las masas metálicas vecinas, etc. De la fórmula:

$$Q = 0,24 W t.$$

se deduce inmediatamente la expresión del tiempo necesario:

$$t = \frac{Q}{0,24 W} = \frac{120.000}{0,24 \times 200} = 2500 \text{ seg}$$

$$t = 41' 40''$$

Variación de la resistencia con la temperatura

Los conductores se comportan diferentemente al paso de la corriente si están fríos o calientes. En general la resistencia eléctrica de los mismos se eleva al calentarlos, o sea aumenta la dificultad que oponen a la circulación de cargas eléctricas. Solamente el carbón entre los cuerpos comunes presenta una característica inversa de la mencionada, reduciendo su resistencia al calentarse.

Se ha comprobado que el aumento de resistencia de los conductores es proporcional a la elevación de temperatura, y desde luego, al valor de la resistencia, puesto que si se produce un aumento

de 10% por ejemplo, en 10 Ohm ese aumento es de 1 Ohm, pero en 100 Ohm vale 10 Ohm. Hay tablas que dan el aumento de resistencia que experimentan los diferentes conductores por Ohm y por grado centígrado de elevación de temperatura. La tabla siguiente da los valores más comunes del llamado *coeficiente de temperatura*, designado comúnmente con la letra griega alfa (α), y que es el aumento de resistencia por Ohm y por grado:

Coeficiente de temperatura

Substancia	α
Cobre	0,004
Plata	0,0036
Aluminio	0,0037
Acero	0,005
Estaño	0,0045
Plomo	0,0037
Mercurio	0,00087
Platino	0,0024
Zinc	0,0039
Constantán	0,00003
Nicrom	0,00014
Manganina	0,00001
Niquelina	0,0003
Maillechort	0,0004
Tungsteno	0,0045

Se notará en la tabla que hay aleaciones como la manganina y el constantán que tienen un coeficiente de temperatura muy reducido. Ello se debe a que esas aleaciones se han buscado por esa característica, para construir resistencia inalterables con el calor, o por lo menos, poco variables.

Para determinar el valor de una resistencia eléctrica a una temperatura distinta de la de referencia, que es comúnmente 20° C, hay que calcular cuanto es la alteración por el calor. Hemos dicho que alfa es el aumento por Ohm y por grado; el aumento total experimentado en el valor de la resistencia vale:

$$\alpha R_i t$$

Siendo R_i la resistencia en frío o inicial, α el valor de la tabla y t la variación o aumento de temperatura experimentado. Como en frío tenemos un valor inicial R_i de resistencia, en caliente tendremos ese mismo más el aumento, o sea, la resistencia final:

$$R_f = R_i + \alpha R_i t$$

O simplificando la expresión con ayuda del Álgebra:

$$R_f = R_i (1 + \alpha t)$$

Donde R_f es la resistencia final o en caliente, y los demás datos son conocidos.

Ejemplo 1: *Un alambre de níquelina tiene, a la temperatura ambiente de 20° C, una resistencia eléctrica de 200 Ohm. Calcular la resistencia que ofrece a 300° C.*

Solución

En la tabla que da los coeficientes de temperatura, para la níquelina:

$$\alpha = 0,0003$$

Aplicando la expresión que da la resistencia en función de la elevación de temperatura, se tiene:

$$R_f = R_i (1 + \alpha t)$$

Donde t es la elevación de temperatura, que vale:

$$t = 300 - 20 = 280^\circ \text{ C}$$

Reemplazando valores:

$$R_f = 200 (1 + 0,0003 \times 280) = 200 (1 + 0,084)$$

$$R_f = 200 \times 1,084 = 216,8 \text{ Ohm}$$

Ejemplo 2: *Una válvula de transmisión toma en su filamento una corriente de 8 Amper a una tensión de 12 Volt. Si la temperatura del filamento de tungsteno es de 2.500° C, averiguar la resistencia en frío.*

Solución

Como se nos pregunta R_i debemos conocer previamente R_f .

$$R_f = \frac{E}{I} = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ Ohm.}$$

Ahora deducimos R_i de la fórmula general, tomando de la tabla el coeficiente de temperatura del tungsteno, $\alpha = 0,0045$.

$$R_i = \frac{R_f}{1 + \alpha t} = \frac{1,5}{1 + 0,0045 \times 2.500} = 0,12 \text{ Ohm}$$

Donde se ha supuesto que $t = 2.500^\circ \text{ C}$, puesto que la temperatura ambiente es muy pequeña para ser tenida en cuenta.

Día 3

El estudio de la energía eléctrica nos ocupó durante la jornada anterior y aprendimos unas cuantas cosas que son de mucha utilidad en la práctica. El trabajo y la potencia eléctrica están vinculados permanentemente con nuestra vida diaria. Ahora debemos entrar en un tema nuevo, si se lo compara con lo visto hasta aquí en los primeros dos capítulos; se trata del electromagnetismo, o sea de los fenómenos magnéticos ya conocidos por los estudios de Física, pero ahora nos dedicaremos a los que se producen por medio de la electricidad. Un imán atrae pequeñas partículas de hierro, pero mediante una bobina hecha con un alambre enrollado por el cual se hace pasar una corriente eléctrica, también se pueden observar los mismos fenómenos y otros que nos ocuparán durante toda la jornada. No hace falta destacar la importancia del tema, pues de él se derivan los generadores y los motores eléctricos, que serán estudiados más adelante. Es que el magnetismo es un fenómeno subyugante que impactó a los hombres desde que un filósofo griego Thales, en la ciudad de Mileto, descubrió incidentalmente la piedra imán, aunque hay referencias de que los chinos ya habían encontrado ese fenómeno 2000 años antes que Thales. Bien, con los anticipos formulados podemos ahora encarar el estudio previsto para este día y pasar al tema fijado.

ELECTROMAGNETISMO

Hace mucho tiempo que se descubrió accidentalmente la propiedad que tenían ciertas piedras de atraer partículas metálicas. Las piedras se llamaron *imanes* y la propiedad *magnetismo*. Acercando un imán a un montón de limaduras de hierro, por ejemplo, se observaba que quedaban adheridas en sus extremos, en la forma que ilustra la figura 17. Era evidente que en el entorno del imán había fuerzas, las que actuaban sobre las partículas de hierro. Probando con otros materiales no sucedía lo mismo, salvo contados casos. De manera pues que el magnetismo se manifiesta en el hierro, acero y sus derivados y raramente en otros cuerpos.

Frotando una barra de hierro con una piedra imán, se observó que la barra quedaba imanada, adquiriendo todas sus propiedades. También

sucede esto si sólo se acerca la barra al imán, dejándola un tiempo arrimada. Al fenómeno se le llamó imantación por influencia.

La barra imanada constituye un imán artificial que puede perder sus características, bien por medio del calor, sometiéndola a altas temperaturas, bien por la simple acción del tiempo. Dejando un imán artificial sin uso, se nota que va perdiendo lentamente su magnetismo. Para evitarlo, o por lo menos para disminuir la pérdida, se pueden colocar barras de hierro dulce que toquen los extremos de la barra imanada. En la figura 18 se ve cómo se procede para imanes de forma herradura o de forma de barra lisa.

Una aplicación muy interesante del magnetismo la tenemos en la *brújula*, que es un aparato que tiene una aguja imanada que está apoyada en un eje para que pueda girar libremente. Debajo tiene una escala con indicación de los puntos cardinales (figura 19). El funcionamiento se basa en los hechos siguientes:

1) Se ha observado que un imán tiene dos extremos de distintas características, por lo que se

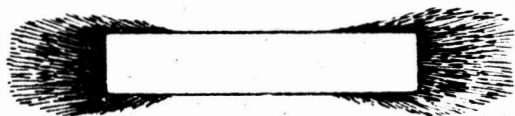


Fig. 17. — Un imán atrae las limaduras de hierro.

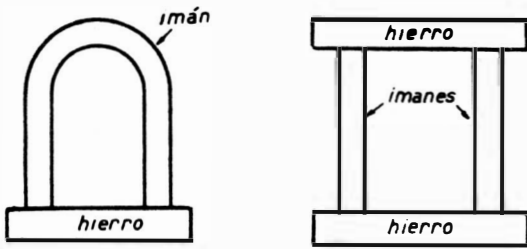


Fig. 18. — Para conservar los imanes se deben cerrar los circuitos magnéticos.

los llamó: *polo norte y polo sud*.

2) Polos de igual signo se rechazan y polos de distinto signo se atraen. Esto es similar a lo que sucedía con las cargas eléctricas.

3) El globo terráqueo es un enorme imán, con sus dos polos. Por tal motivo, cualquier imán que esté montado sobre un eje de modo que pueda girar, se moverá de manera que quede orientado en la dirección de los polos de la Tierra. Por error se designó Norte al polo magnético sud de la Tierra y Sud al norte magnético, de manera que la brújula señala con su norte al norte geográfico, por atracción de polos de signo contrario (es evidente, puesto que el norte geográfico es sud magnético). Son conocidas las aplicaciones de la brújula en la orientación marítima, de manera que no insistiremos en ello, pero veremos más adelante sus aplicaciones en Electricidad.

Magnetismo producido por la corriente eléctrica

De la observación de ciertos fenómenos por investigadores, se dedujo que la corriente eléctrica,

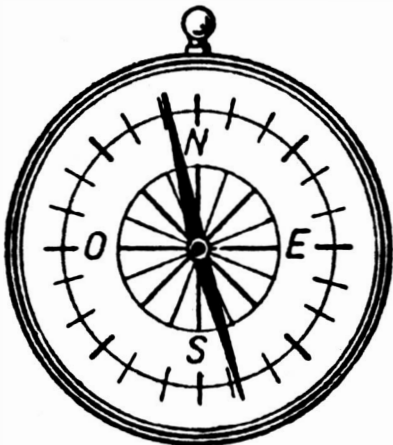


Fig. 19. — Modelo común de brújula magnética.

al circular, origina fenómenos magnéticos. En efecto, si acercamos una brújula a un conductor por el que circula corriente eléctrica, se nota que la aguja se desvía, acusando la presencia de fuerzas magnéticas. Si se invierte el sentido de circulación de la corriente, la desviación de la aguja se cumple en sentido contrario (figura 20).

También se pudo observar que esos fenómenos magnéticos tenían lugar en todo el entorno del conductor, pues poniendo la brújula en cualquier posición se notaba el efecto de desviación. A toda la zona afectada se la llamó *campo magnético* y en él se manifiestan las fuerzas capaces de atraer las partículas de hierro que fueron mencionadas antes.

A los efectos de visualizar de alguna manera el campo magnético y sus efectos, Faraday propuso una ingeniosa representación del campo magnético. Consiste en suponer que se coloca una partícula de hierro cerca de un imán o en la zona o campo magnético. Por efecto de las fuerzas actuantes esa partícula se desplazará siguiendo una trayectoria. Esa línea formada se denomina *línea de fuerza* y habrá muchas, porque se puede colocar una partícula en cualquier lugar del campo magnético observándose una trayectoria distinta. Así puede representarse un campo magnético por una serie de líneas imaginarias, que en el caso de los imanes van del polo norte al sud.

Ahora bien, cuanto más magnetismo tenga un imán, más intenso será el efecto en su alrededor, es decir más intenso será el campo magnético. Para poder expresar la intensidad del campo magnético en alguna forma, se propuso medirla por la cantidad de líneas de fuerza. Luego, un campo magnético se mide por la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan un centímetro cuadrado perpendicular a ellas. Colocando, entonces, un cuadradito de un cm de lado perpendicular a las líneas de fuerza, se supone que el número de líneas que lo atraviesan mide la intensidad de ese campo magnético.

Hablemos del magnetismo producido por las corrientes eléctricas y veremos que podemos también aplicar esas convenciones. Cuanto más intensidad tenga la corriente más intenso será el campo magnético producido alrededor del conductor, y entonces diremos que hay más líneas de fuerza por cm^2 . También se suele llamar Gauss a la cantidad de líneas por cm^2 , de modo que un campo de 200 Gauss quiere decir que es un campo que tiene 200 líneas de fuerza por cm^2 .

Bobinas o solenoides

El hecho que en el entorno de un conductor recorrido por corriente exista un campo magnético,

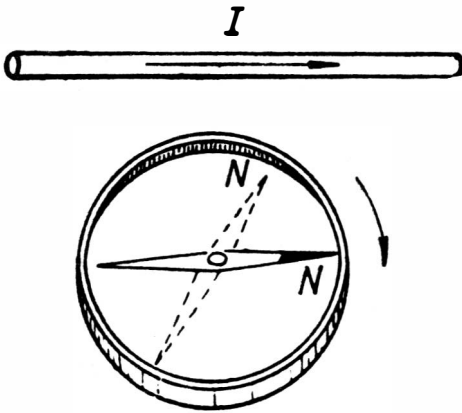


Fig. 20. — Desviación de la aguja de la brújula.

hizo pensar en la ventaja de arrollar al conductor, para tener en la parte interior del arrollamiento un campo muy intenso. Al efecto, ese arrollamiento se llama *bobina* o *solenoides* y presenta el aspecto de la figura 21.

Las líneas de fuerza tienen la forma que se ve en la figura, de modo que el solenoide forma un verdadero imán, debiendo tener un polo norte y uno sud. Acercando la brújula a cada extremo se ve en seguida cuál es el norte y cuál el sud, y se ve también que si se cambia el sentido de circulación de la corriente en la bobina cambia la polaridad magnética del electroimán. Se ha dado una regla práctica para determinar la polaridad magnética sin necesidad de la brújula.

Regla del tirabuzón. Si se hace girar un tirabuzón en el sentido en que circula la corriente en la bobina, él avanzará en la dirección del eje y saldrá por el extremo que corresponde al polo

norte. Volviendo a la figura 21 colocamos el tirabuzón y lo hacemos girar según la circulación de la corriente. Vemos enseguida que avanza hacia la izquierda, por lo que el polo norte estará en ese extremo.

Valor de la intensidad de campo. En el interior de la bobina hay un campo magnético de cierta intensidad, es decir, de cierta cantidad de líneas por cm^2 . Es evidente que, cuanto mayor sea la intensidad de corriente que recorre al conductor y cuanto más espiras o vueltas tenga la bobina, más intenso será ese campo magnético. Además, si la bobina es larga habrá menor concentración de las líneas de fuerza y el campo será menor. Luego, el valor de la intensidad de ese campo magnético es:

$$H = \frac{1,25 N I}{l}$$

Donde H es la intensidad del campo o número de líneas/ cm^2 ; N es el número de espiras de la bobina; I es la intensidad de la corriente en Amper. l es la longitud de la bobina medida sobre el eje, tomada en cm. No tiene nada que ver con la longitud del alambre empleado, sino que es la medida que se indica en la figura 21.

De la observación de la fórmula surge la evidencia de que, para tener campos intensos, lo mismo da aumentar la corriente o el número de espiras, por lo que en la práctica se recurre a lo segundo, para reducir el consumo de corriente. Las bobinas se hacen entonces, con muchas espiras a fin de lograr campos magnéticos intensos.

Imantación de núcleos de hierro

Si colocamos una barra de hierro dentro de la bobina de la figura 21, se notará de inmediato que

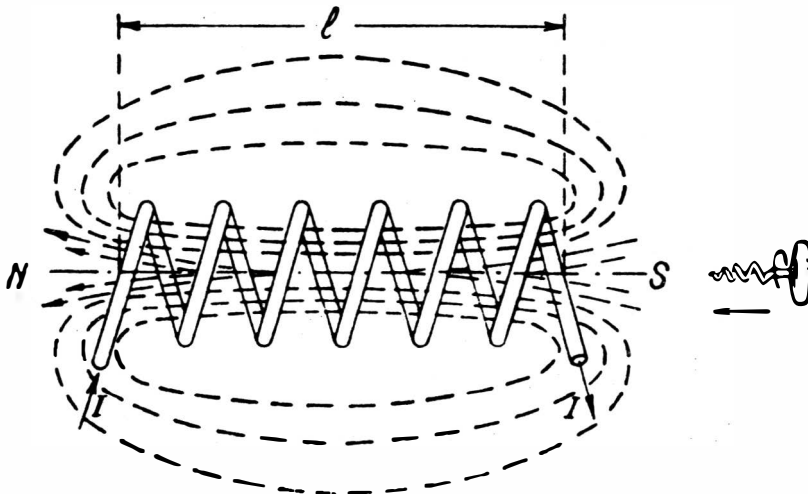


Fig. 21. — Campo magnético de un bobinado.

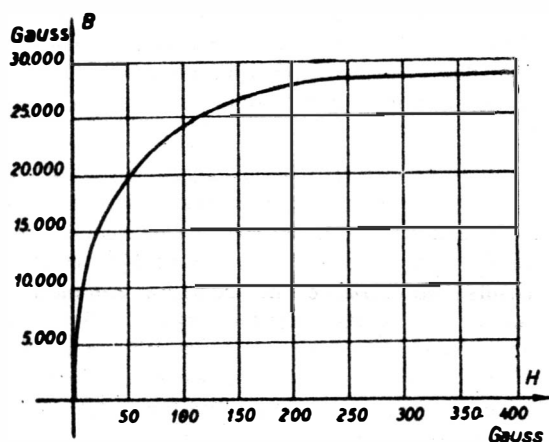


Fig. 22. - Curva de imantación del hierro.

en esa barra la concentración magnética es mayor. Todo pasa como si la barra de hierro fuera más permeable a las fuerzas del campo magnético, las dejara pasar con más facilidad. Esa propiedad del hierro se llama, precisamente: *permeabilidad magnética*. Pero lo interesante es que si se aumenta la intensidad del campo (por aumento de la corriente), se nota que la barra de hierro se va haciendo menos permeable, como si al haber más intensidad en el campo magnético, la barra se fuera "llenando" y perdiera permeabilidad. Tal fenómeno se llama *saturación magnética* y se va haciendo cada vez mayor a medida que el campo es más intenso.

Supongamos que podemos medir el número de líneas de fuerza que tiene el campo magnético en el interior de la bobina, o que lo calculamos en función de la fórmula dada. Además, mediremos el número de líneas de fuerza que hay en la barra de hierro, lo que se llama *inducción magnética*. Es interesante ver cómo varía esta última cuando hacemos variar la intensidad de campo magnético, aumentando la corriente eléctrica. La figura 22 muestra esa variación; H es la intensidad de campo y B es la inducción magnética. Se ve que al principio, al aumentar H aumenta también B , pero a medida que se va produciendo la saturación B no aumenta tanto y finalmente, cuando la barra está saturada, no aumenta más. Esa curva se llama de *imantación* y es distinta para cada variedad de hierro o acero.

Histéresis magnética

Otra propiedad interesante de los núcleos de hierro es la retentividad magnética, es decir que después de retirarlos de la bobina quedan imanta-

dos. Eso se puede ver mediante el fenómeno de histéresis que se ilustra gráficamente en la figura 23. Si colocamos una barra de hierro o acero en el interior de una bobina, y trazamos la curva de imantación, según hemos visto en la figura 22, tendremos la curva OS . Ahora disminuimos la corriente en la bobina gradualmente hasta anularla. No hay más campo magnético pero en la barra hay todavía magnetismo. Queda en ella una inducción dada por el tramo AO que se llama *magnetismo remanente*.

Cambiamos ahora el sentido de circulación de la corriente, haciéndola pasar en sentido contrario. Sabemos que el campo magnético cambia de sentido, según la regla del tirabuzón. Luego tomamos los valores hacia la izquierda en el gráfico. A medida que aumenta H se va anulando el magnetismo remanente, se llega al punto B , y después al S' simétrico del S . La $B S'$ es otra curva de imantación. Disminuyendo ahora la corriente se llega al punto A' que da el magnetismo remanente OA' cuando ya no hay corriente en la bobina. Cambiando nuevamente el sentido de la corriente se obtiene en forma similar la curva $A'S$, terminando el *ciclo de histéresis*, que así se llama el fenómeno completo.

Más adelante tendremos oportunidad de ver las ventajas o inconvenientes de este fenómeno, pero podemos adelantar que el efecto en el núcleo de hierro es producir una elevación de temperatura, por lo que ocasiona una pérdida de energía en forma de calor. Allí donde haya un núcleo de hierro en un bobinado, estará el problema del calentamiento producido por la histéresis, que habrá que tener en cuenta.

Más adelante, en el tema Transformadores, veremos cuánto valen estas pérdidas.

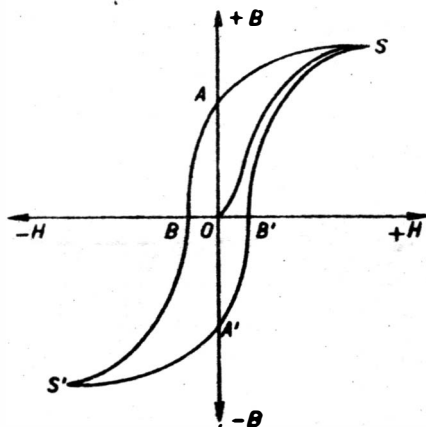


Fig. 23. - Ciclo o lazo de histéresis.

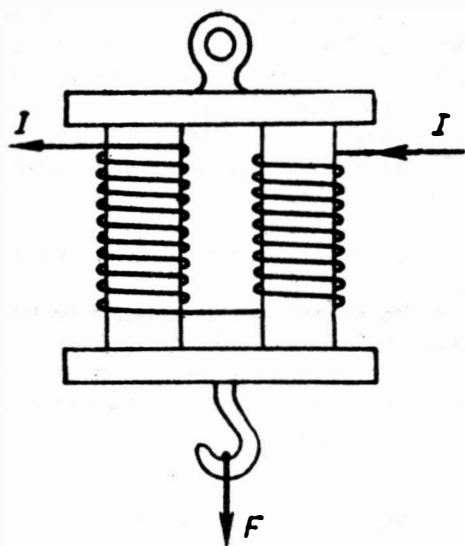


Fig. 24. - Aspecto de un electroimán.

Electroimanes

Aprovechando la propiedad de los bobinados de producir campos magnéticos al ser recorridos por corrientes eléctricas, campos que son mucho más intensos si se colocan núcleos de hierro dentro de las bobinas, se construyen dispositivos llamados electroimanes (ver figura 24). Tienen por objeto levantar pesos, atraer objetos, etc. Constan de un doble núcleo, alrededor del cual se arrolla el bobinado. En la parte inferior tienen una pieza suelta de hierro, que es la *armadura*, y a la cual se asegura el objeto a levantar o mover.

Cuando pasa corriente por el bobinado se forma un campo magnético, y las fuerzas actuantes atraen la armadura con una fuerza F , que se puede calcular. Para ello supongamos que se conoce el material de que se ha hecho el núcleo y se tiene la curva de imanación del mismo. Además, se tiene un cierto número de espiras en el bobinado y una sección transversal S del núcleo, en cm^2 .

Conociendo el número de espiras, la longitud del núcleo y la corriente que circula, ya hemos visto que se puede determinar la intensidad del campo magnético producido H , en líneas/ cm^2 . Con ese valor se encuentra en la curva de imanación del material el correspondiente valor de la inducción magnética B . Luego la *fuerza portante* capaz de realizar el electroimán vale:

$$F = \frac{3,97 B^2 S}{100.000.000} \text{ (Kg)}$$

Así, por ejemplo, si se tiene un electroimán

el que según su núcleo y corriente en el bobinado, sabemos que tiene unas 15.000 líneas de fuerza por cm^2 como inducción, y la sección del núcleo es de 200 cm^2 , la fuerza portante será:

$$F = \frac{3,97 \times 15.000 \times 15.000 \times 200}{100.000.000} = 1.800 \text{ Kg aprox.}$$

Que es, como vemos, bastante grande. Se comprende enseguida la gran difusión que han tomado los electroimanes para todos los usos de la Técnica.

Inducción electromagnética

Estudiaremos ahora un interesante fenómeno que tiene lugar en los circuitos electromagnéticos. Tomemos una bobina con núcleo de hierro (podría ser sin núcleo, pero el fenómeno es imperceptible) y arrollemos encima de ella otra bobina. La primera toma el nombre de *primario* y la otra es el bobinado *secundario*. Al primario lo conectamos a una toma de corriente, entre cuyos polos hay una tensión E , pero intercalamos en serie un resistor variable (ver figura 25). El resistor variable tiene un contacto corredizo que permite tomar más o menos porción del total, a fin de variar la resistencia intercalada en el circuito. En la figura se dibuja un bobinado al lado del otro, para que se pueda ver.

El secundario está provisto de dos terminales o bornes, entre los cuales se puede colocar un aparato que acuse cualquier tensión que hubiera presente (un voltímetro se presta para el caso). Por el primario circula una corriente I , que mientras no se corra el cursor móvil del resistor, no variará.

Corramos ahora bruscamente el cursor del resistor, con lo que se producirá una variación brusca de la corriente I . Se nota que en el secundario aparece una tensión entre los bornes, tensión que se llama *fuerza electromotriz inducida*. Al fenómeno se le llama *inducción* o *inducción mutua*, y es tanto más intenso cuanto más brusca sea la

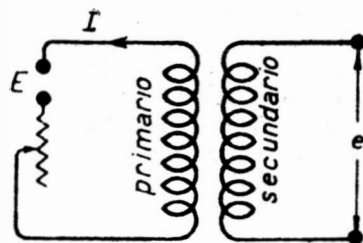


Fig. 25. - El fenómeno de inducción mutua.

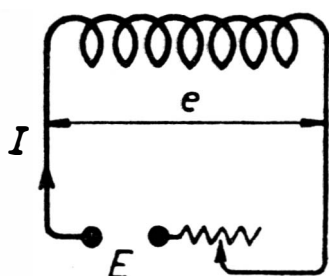


Fig. 26. — El fenómeno de autoinducción.

variación de la corriente y cuanto más espiras tengan los bobinados.

Puede estimarse el valor de la tensión en el secundario, si se conocen algunos datos de las bobinas. Supongamos que la inducción en el núcleo sea conocida y de valor B , por cm^2 . Además, ese núcleo tiene una sección transversal S , en cm^2 . Luego, se llama *flujo magnético* en el núcleo al producto:

$$\Phi = BS$$

Que como se ve, se ha designado con la letra griega Φ . Representa el producto del número de líneas de fuerza por cm^2 por la cantidad de cm^2 que tiene la sección transversal, o sea no es otra cosa que la cantidad total de líneas de fuerza que pasan por el núcleo. Esto es muy importante, como veremos más adelante.

Conocido el flujo magnético, estamos en condiciones de decir que la tensión inducida en el secundario es proporcional a la variación de flujo que se produzca, y que esta variación de flujo depende a su vez de la variación de la corriente, en la siguiente forma:

$$\Phi = MI$$

Donde M es una característica de los bobinados, llamada *mutual* o *coeficiente de inducción mutua*, se mide en Henry, y depende de los números de espiras de los dos bobinados, del tipo de material del núcleo, de su sección y de su longitud.

En resumen, la tensión o fuerza electromotriz inducida en el secundario, que indicamos con e en la figura, es proporcional a la variación de la corriente, a la mutual del circuito e inversamente proporcional al tiempo que duró la variación. Quiere decir que será más grande cuanto más rápida sea esa variación.

Autoinducción

Tomemos ahora un único bobinado arrollado

en un núcleo, y conectémoslo como estaba el primario de la figura 25; se tiene el esquema de la figura 26. Si se corre el cursor del resistor se producirá una variación de la corriente, y también del flujo magnético, sucediendo lo mismo que en el caso anterior. Al variar el campo magnético las líneas de fuerza cortan las espiras de la bobina, y se produce la inducción, que en este caso, como hay una sola bobina, se llama *autoinducción*.

También en este caso la variación de flujo es proporcional a la variación de corriente, en proporción que depende de las características de la bobina y su núcleo. Se puede expresar lo siguiente:

$$\Phi = LI$$

Que dice que el flujo es igual al producto de un *coeficiente de autoinducción* o *inductancia* por la intensidad de corriente. La inductancia de la bobina depende del número de espiras, de la longitud y sección del núcleo y del material de que esté construido.

Al variar la corriente en el circuito, aparecerá entre los extremos de la bobina una tensión autoinducida, independiente de la tensión aplicada al circuito E . Lo interesante es que si la corriente aumenta, la tensión inducida e es contraria a la aplicada E , y si la corriente disminuye, es del mismo sentido que E . Esto se traduce diciendo que la f.e.m. (fuerza electromotriz) inducida se opone a la causa que la genera, puesto que cuando la corriente aumenta tiende a anularla y cuando la corriente disminuye, tiende a aumentarla.

Bobina de Ruhmkorff

Se trata de un dispositivo que produce automá-

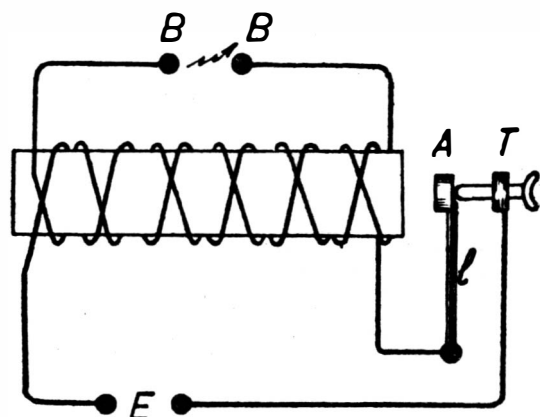


Fig. 27. — Carrete de Ruhmkorff.

ticamente fenómenos de inducción. Para ello consta de un núcleo, sobre el cual se arrollan dos bobinados: un primario y un secundario (figura 27). El primario se conecta a una tensión E , de cualquier fuente eléctrica, y tiene insertado en serie un contacto elástico formado por la lámina l y el tope T . En el extremo de la lámina l hay una placa de hierro A , que queda frente al extremo del núcleo de hierro.

Cuando pasa corriente por la bobina, la chapa A toca en el tope T , y entonces el primario funciona como un electroimán, y el núcleo atrae a la armadura A , interrumpiendo el circuito. A se suelta, toca en T y cierra nuevamente el circuito y así siguiendo, se repite el proceso varias veces por segundo. Tenemos así que en el circuito primario hay corriente o no hay, a intervalos regulares. El

campo magnético será continuamente variable y las líneas de fuerza cortarán a las espiras del secundario, por lo que aparecerá una tensión inducida, que se notará por saltar una chispa de descarga entre las dos esferitas B, B .

El dispositivo tiene diversas aplicaciones, como ser en algunos circuitos de encendido de motores a explosión, en los aparatos que transforman corriente continua en alternada y otras. Más adelante tendremos ocasión de volver sobre ello para estudiar algunas de tales aplicaciones. También en este caso se obtienen tensiones tanto mayores cuanto más espiras tengan las bobinas, cuanto mejor y más grueso sea el núcleo y cuanto mayor sea la variación de corriente en el primario para lo cual debe estar hecho con alambre conductor grueso.

Día 4

A medida que entramos en materia los temas van adquiriendo mayor densidad y en el estado que encontramos el libro al final de la tercera jornada nos sorprenderá el desarrollo previsto para la cuarta, pues estudiaremos los generadores y los motores eléctricos que abarcan uno de los capítulos más importantes de nuestro tema. Los generadores nos entregan energía eléctrica para usarla a voluntad con solo accionar una llave y los motores hacen andar los ascensores, los trenes eléctricos, las máquinas de la industria y tienen una enorme cantidad de aplicaciones, pues en nuestros hogares los encontramos en los tocadiscos, ventiladores, aspiradoras, lavarropas, extractores o acondicionadores de aire, etc. No hace falta decir nada más para asignar a este tema la importancia que merece, aunque hay que hacer una aclaración: debemos estudiar los generadores y los motores eléctricos y por razones didácticas se comienza por los de corriente continua, pero los que están difundidos en la mayoría de las actividades humanas son los de corriente alternada, y que serán estudiados en dos capítulos posteriores. Pero de todos modos los tres capítulos en conjunto constituyen la parte más interesante y más densa de toda la materia y es lógico que le asignemos la importancia debida. Es por esto que invitamos al lector a entrar en el tema de este día, preparado a leer y releer el texto programado hasta lograr una asimilación completa.

GENERADORES Y MOTORES DE CONTINUA

Los fenómenos de inducción vistos en el capítulo anterior se presentan también si tomamos un conductor y lo movemos dentro de un campo magnético. Basta que en su movimiento barra o corte líneas de fuerza para que aparezca una tensión inducida entre los extremos del conductor, tensión que será tanto mayor cuanto más intenso sea el campo, cuanto más rápido sea el movimiento y cuanto más largo sea el conductor.

Este principio tiene una aplicación importantísima, pues basado en él se construyen los generadores eléctricos o *dinamos*, para la producción de corriente eléctrica en gran escala. Cabe recordar que estamos estudiando las corrientes que circulan siempre en una dirección en los conductores, y que sin causa ajena no modifican su intensidad, corrientes que pertenecen a la categoría de la *corriente continua*.

Veamos cómo procedemos para aprovechar el fenómeno de inducción que citamos ya. Coloquemos un alambre conductor doblado como se ve en la figura 28, dentro del espacio comprendido entre

los dos polos norte y sud de un imán (*N* y *S* en la figura) y hagámoslo girar con movimiento uniforme en el sentido indicado. Al moverse el conductor, cortará las líneas de fuerza del campo magnético que saliendo del polo norte se dirigen al polo sud y se constatará la existencia de una corriente eléctrica, que tiene el sentido indicado en la figura mediante flechas.

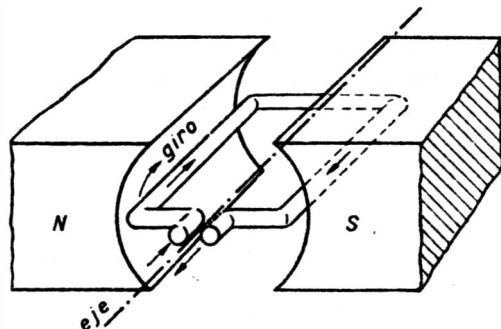


Fig. 28.— Principio del generador eléctrico.

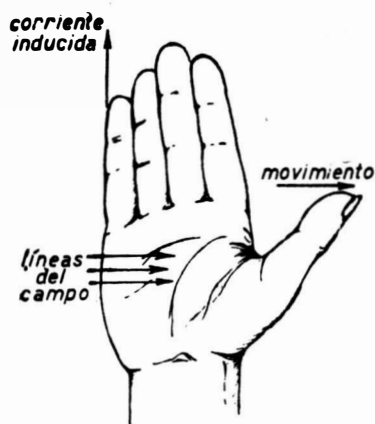


Fig. 29. - Regla de la mano derecha.

Para encontrar el sentido de la corriente, se puede aplicar la *regla de la mano derecha* (ver figura 29), en la siguiente forma: colocando la mano derecha estirada junto al conductor, de modo que quede perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, y de forma que las líneas entren por la palma y salgan por el dorso, en la figura 28 la mano debe quedar con la palma vuelta hacia el polo norte, en posición vertical, y el dedo pulgar separado totalmente de los demás en la dirección del movimiento del conductor; los demás dedos de la mano, estirados, señalarán el sentido de circulación de la corriente inducida en el conductor.

Aplicando la misma regla a la parte derecha del conductor, en el recorrido de vuelta, vemos que él se mueve hacia abajo en esta parte, de modo que la palma debe colocarse también vuelta hacia el norte, pero con el pulgar hacia abajo, y los dedos restantes señalarán hacia adelante, con lo que la corriente tendrá el sentido indicado en la figura.

Puede recogerse, pues, la corriente inducida en el conductor para su utilización en el circuito exterior, puesto que la circulación es continua y se formaría un circuito cerrado.

Veamos ahora qué sucede durante el giro completo del conductor alrededor de su eje, para lo que nos remitimos a la figura 30. Indicaremos convencionalmente con una cruz, a la corriente cuya dirección es entrante al plano de este papel, y con un punto a la que tiene dirección contraria, es decir, sale del papel. Esto es necesario, porque la figura 30 representa un corte transversal de la espira que forma el conductor de modo que sólo se ven dos círculos pequeños, equidistantes del eje, que representan los cortes transversales del conductor en la ida y en la vuelta, y deseamos ver en qué sentido la corriente recorre a dicho conductor.

En la figura se han indicado cuatro posiciones distintas de la espira, distando cada una de ellas de la inmediata anterior un octavo de vuelta completa que da alrededor del eje. En la posición 1-1, la corriente tiene el sentido que se indicó en la figura 28, es decir, es entrante en la rama de la izquierda y saliente en la rama de la derecha.

Pasemos a la posición 2-2, es decir, cuando la espira ha girado un octavo de vuelta en el sentido indicado con la flecha. La corriente inducida tendrá el mismo sentido de circulación que en la posición 1-1, como se puede comprobar fácilmente con la regla de la mano derecha. Al llegar a la posición 3-3, las dos ramas de la espira han dado un cuarto de vuelta, y se mueven ahora en dirección paralela a las líneas de fuerza del campo magnético, por lo que no será cortada ninguna línea de fuerza y no habrá corriente inducida. Esto pasa tanto para la rama izquierda del conductor, que ha quedado arriba, como para la rama derecha, que alcanzó la posición inferior.

Pasando a la posición 4-4 notamos algo interesante: aplicando la regla de la mano derecha, veremos que el sentido de circulación de la corriente ha cambiado con respecto a la que había en las posiciones 1-1 y 2-2, siendo justamente contrario al anterior. En efecto, el sentido de las líneas de fuerza del campo magnético no cambia, mientras que el del movimiento del conductor sí, porque en la posición 1 y 2 de la izquierda, éste tenía movimiento ascendente, mientras que en la posición 4, ha pasado al otro lado de la posición límite superior y tiene movimiento descendente. La mano derecha debe pues, girarse media vuelta hacia adelante, para que el pulgar señale hacia abajo y entonces los dedos estirados indican hacia afuera con lo que la corriente será saliente, correspondiéndole el signo convencional representado con un punto.

Las mismas consideraciones podríamos hacer para la rama derecha de la espira que descendía en las posiciones 1 y 2 de la derecha, y que, des-

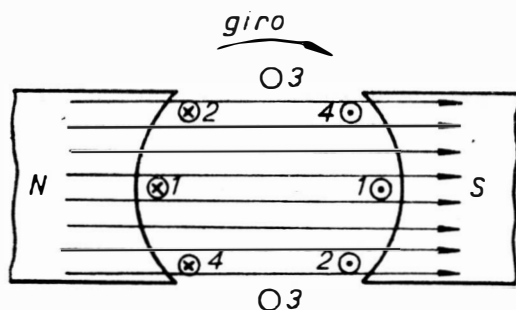


Fig. 30. - Sentido de las corrientes durante una vuelta.

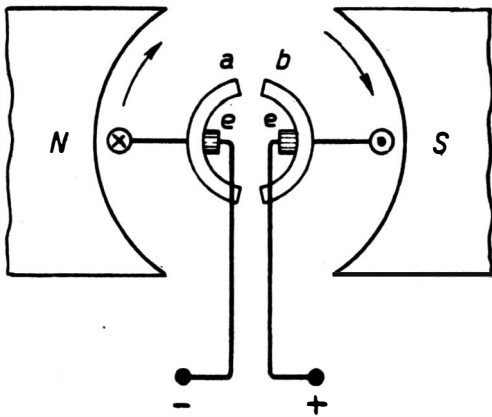


Fig. 31. — Principio de acción del colector o conmutador.

pues de pasar por la posición límite inferior (3) comienza a ascender, cambiándose también en ella el sentido de circulación de la corriente.

Tenemos, en resumen, que durante media vuelta de la espira, la corriente tendrá un cierto sentido de circulación, y durante la otra media vuelta, tendrá sentido contrario. Esto no está de acuerdo con las leyes de la corriente continua, sino más bien con las de la corriente alternada, por cuyo motivo se puede afirmar que en las espiras elementales de las máquinas generadoras de corriente continua se produce corriente alternada, utilizándose el dispositivo que veremos a continuación para enderezar esta corriente y convertirla en continua.

Colector o conmutador

Si disponemos que la toma de corriente no se haga directamente de los extremos del conductor que forma la espira, sino que fijamos al rotor girante dos sectores metálicos o delgas (de cobre), indicados (a) y (b) en la figura 31, de modo que los dos sectores giren junto con el conductor, y colocamos dos trozos (e, e) de bronce duro o carbón, de manera que rocen con los sectores metálicos a y b pero que no giren con ellos, sino que permenezcan en una posición fija, durante el giro completo del conductor con sus sectores metálicos, éstos rozarán continuamente con los trozos de material conductor e, e, pudiendo salir por ellos la corriente de la espira hacia el circuito exterior. Las piezas e e se llaman *escobillas*.

Observemos que durante la media vuelta en que la corriente es entrante en el conductor de la izquierda, el sector a toca la escobilla de la izquierda y cuando cambia el signo, por pasar hacia la mitad derecha de su giro, toca la escobilla de la derecha. Con el conductor de la derecha pasa algo

parecido: durante su media vuelta en la posición derecha, la corriente es saliente y el sector b toca la escobilla de la derecha, pero en cuanto pasa a la izquierda, la corriente cambia de sentido de circulación, pero también cambia de escobilla el sector b, pues comienza a rozar la escobilla de la izquierda.

De modo que, resumiendo, tenemos que en la escobilla de la derecha siempre fluye corriente y en la de la izquierda siempre entra, y esto durante todo el giro del conductor, con lo que se ha eliminado el inconveniente citado más arriba.

No hay ninguna dificultad en extender el problema a varios conductores, cada uno de los cuales forme una espira girante. Observemos para ello la figura 32 y veremos que la solución está en disponer tantos sectores metálicos o delgas como lados de espira haya, y aislar todos los sectores entre sí, disponiendo igual que antes un par de escobillas para recoger la corriente producida durante el giro de los conductores.

Posteriormente se verá que no siempre es necesario que haya igual cantidad de sectores en el colector como conductores inducidos, y que, a veces, no hay sólo dos escobillas, o si las hay, pueden estar colocadas en posición distinta que la diametral opuesta.

Diseño práctico de dinamos

Hemos hablado al principio de una espira que giraba dentro de un imán permanente. Se comprende enseguida que a los efectos de conseguir producción de corriente eléctrica en gran escala, los generadores ni tendrán el imán permanente, que será substituido por un electroimán, ni tendrán una sola espira girante, pues convendrá disponer de un gran número.

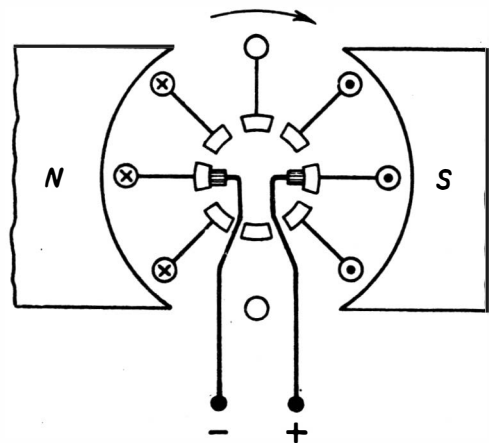


Fig. 32. — El colector con varias delgas.

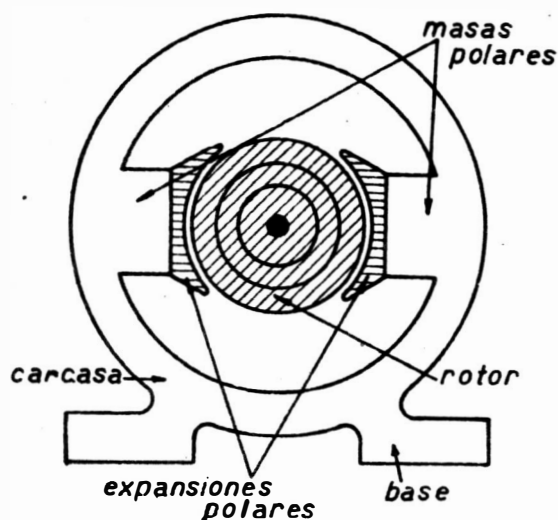


Fig. 33. - Partes de un generador o dinamo.

Se ve enseguida que el generador eléctrico constará de dos partes fundamentales: el electroimán encargado de producir el campo magnético, que se llama *inductor* y el bobinado en el cual se recogerá corriente inducida que se llama *rotor* o *inducido*. Estudiaremos cada una de esas partes por separado, inductor e inducido, porque forman dos circuitos distintos e independientes: el circuito magnético y el circuito eléctrico de la dinamo. A veces, como veremos, hay conexión entre ellos, pero eso no quita la independencia de funciones.

El inductor o circuito magnético

Está formado por la carcasa, las masas polares, el núcleo del rotor y los bobinados encargados de producir el campo magnético; la figura 33 muestra un corte de esta parte del generador, para el caso de tener dos polos o sea inductor bipolar.

Las masas polares que se ven en la figura 33 son, en la realidad, los núcleos de hierro de los electroimanes mencionados, que se disponen a los costados del rotor que tiene los conductores activos. Para mantener la densidad magnética que hay a la salida de las masas polares el rotor debe ser también de hierro, de modo que las líneas de fuerza sigan su recorrido por él hasta llegar a la masa polar opuesta. Las dos masas polares están fijadas a una carcasa exterior, de la que pueden formar parte si ambas son fundidas.

Para que el campo magnético abarque el mayor número posible de conductores del rotor, se colocan en los extremos de las masas polares piezas de hierro, de la forma que se pueden ver en la figura, y que se denominan *expansiones polares*.

En realidad, el ancho de las mismas está limitado, porque se debe mantener una densidad magnética fijada para el funcionamiento óptimo de la máquina.

La carcasa, las masas polares y las expansiones polares, forman en conjunto lo que se denomina generalmente *estator*, siendo la parte inmóvil de la máquina que se asegura a la fundación con buzones, que pasan por orificios que hay en la base. En el estator, se encuentra siempre la caja de bornes, el collar de escobillas y las dos tapas extremas, con los cojinetes para el rotor, que es la parte móvil de la máquina.

El rotor debe ser de hierro, por la razón expuesta más arriba, pero además, como se mueve dentro del campo magnético de la máquina, se inducirán en la masa metálica del mismo corrientes parásitas, que ocasionarían elevación de temperaturas, por lo que se construye laminado en vez de macizo. Las chapas deben estar colocadas en el sentido del recorrido de las líneas del campo, es decir radiales con respecto al eje. La teoría de estas corrientes parásitas la veremos en detalle en el tema de Transformadores, capítulo 7.

Para aclarar esto veamos la figura 34 a, que muestra el corte de un rotor macizo, dentro del campo magnético de las masas polares. Al girar, la parte exterior del rotor tiene más velocidad que

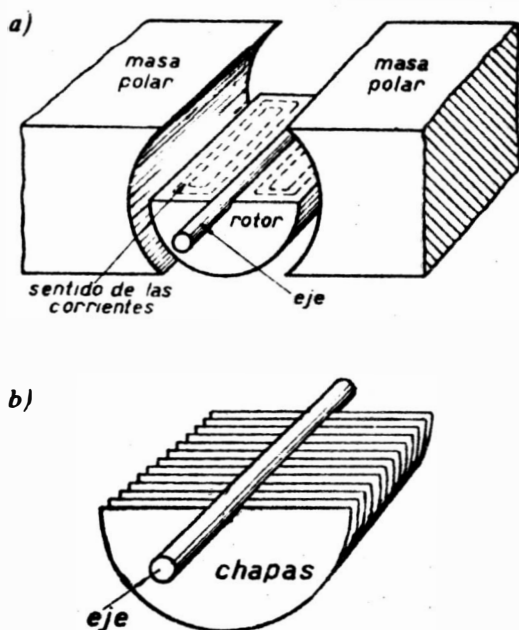


Fig. 34. - a) Corrientes parásitas en el rotor indicadas por la línea de puntos. b) El rotor se hace con chapas delgadas arrimadas para reducir las corrientes parásitas.

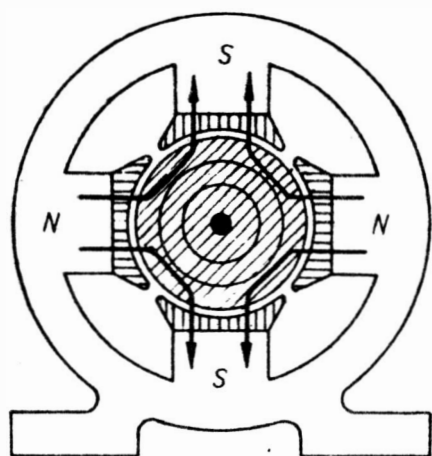


Fig. 35. Circuito magnético de un generador tetrapolar.

la parte interna, cercana al eje, con lo que se ocasionan diferencias de potencial magnético que producirán corrientes inducidas en la masa del rotor.

No se puede evitar la inducción de corrientes parásitas en la masa del rotor, pero sí reducir su magnitud, aumentando la resistencia a su circulación. Para ello, veamos la figura 34 b. Si se colocan una serie de chapas de hierro delgadas, aisladas entre sí, la corriente inducida encontrará en su camino una resistencia mucho mayor, y su magnitud será limitada a valores aceptables. Las chapas se aíslan eléctricamente entre sí mediante papel de seda, esmalte, o simplemente oxidándolas con un chorro de vapor de agua.

El paquete de chapas se asegura mediante pernos roscados, apretándolas bien a fin de no disminuir sensiblemente la sección neta de hierro, que es la que interesa para el circuito magnético de la máquina.

Los bordes de todas las chapas tienen unas ranuras para alojar los conductores activos del rotor, en la forma como se verá más adelante. Estas ranuras se hacen al fabricar las chapas, por estampado. Como además deben llevar una perforación central para paso del eje, y los agujeros para los bulones, se estampa de una sola vez la forma completa de la chapa, haciendo todas iguales, y uniéndolas después entre sí en la forma citada.

La máquina de la figura 33 tiene dos masas polares, y se denomina entonces *máquina bipolar*. En la práctica se construyen, además, generadores y motores de más de dos polos, con cuatro, por ejemplo. Las diferencias que esto produce en el circuito eléctrico serán tratadas en su oportunidad, pero las diferencias en el circuito magnético son fundamentales.

La figura 35 muestra un corte esquemático de una máquina tetrapolar, que tendrá por consiguiente cuatro masas polares, cada una con su respectiva expansión polar. La carcasa es similar a las máquinas de dos polos salvo en el detalle interno del mayor número de salientes.

Las masas polares tienen la polaridad indicada en la figura, es decir, están enfrentados los polos del mismo signo y contiguos los de signos contrarios, a los efectos de obtener un recorrido normal de las líneas de fuerza, concentradas en lo posible en la periferia del rotor que es donde están ubicados los conductores activos.

La ventaja de esta máquina salta a la vista, si se observa el recorrido de las líneas de fuerza en la figura 35, puesto que ellas se concentran principalmente en la periferia del rotor, lugar en que estarán colocados los conductores del bobinado inducido. En forma similar se diseñan máquinas de más de cuatro polos, pero siempre con número par de ellos, y dispuestos regularmente a lo largo de la carcasa. En la práctica abundan más los generadores de dos y cuatro polos, por lo que nos referiremos especialmente a ellos.

Conexiones de los bobinados inductores

El bobinado inductor también se llama de excitación, y puede conectarse y alimentarse de diversas maneras. Puede alimentarse desde una fuente auxiliar, o desde la misma máquina tomando corriente del inducido. Tenemos así dos grandes grupos: las máquinas con excitación independiente y las auto-excitadas. Las primeras son utilizadas únicamente en las grandes usinas, mientras que las segundas son más comunes en las instalaciones de producción en pequeña escala de corriente eléctrica.

Los generadores con *excitación independiente* tienen su devanado de campo o inductor muy similar a los de excitación en derivación, que veremos en seguida.

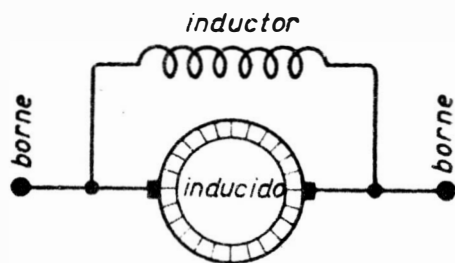


Fig. 36. Esquema de un generador con excitación en derivación.

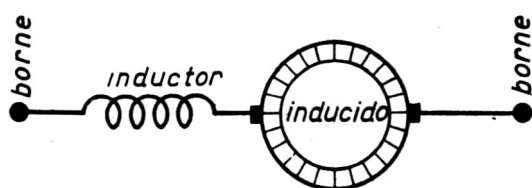


Fig. 37. — Esquema de un generador con excitación en serie

Las máquinas *auto-excitadas* se clasifican en tres grupos principales, según la forma de conectar los devanados de campo con respecto al inducido, esto es a los bornes exteriores de la máquina, representados casi siempre por las escobillas, unidas a bulones de la caja de bornes. Así tendremos generadores en serie, en derivación, y compound o mixta, refiriéndose la denominación a la forma de conectar el devanado de campo.

Máquinas con excitación en derivación. La figura 36 reproduce el esquema simplificado del circuito de excitación (figura el inducido para mostrar las conexiones recíprocas) del tipo derivación, y puede verse que los terminales del circuito de campo se unen eléctricamente a las escobillas.

Este tipo de excitación se usa para generadores o dinamos comunes, para producción de energía eléctrica, cuando no son de potencia considerable, en cuyo caso se utiliza la excitación independiente por permitir una mejor constancia de tensión en la red.

Máquinas con excitación en serie. El esquema de la figura 37 muestra las conexiones para el caso de excitación en serie. Este tipo de excitación tiene la característica que el devanado de campo está recorrido por la misma corriente que el inducido.

Una de las escobillas del generador no tiene, entonces, salida al exterior, puesto que los dos terminales están constituidos por una de las escobillas y uno de los extremos del campo serie.

Para los generadores eléctricos no es muy frecuente el caso de la excitación en serie, sino que se presenta a menudo la forma que veremos enseguida.

Excitación mixta o compound Está representada en la figura 38. Se trata, como se puede ver, de una combinación de dos campos, uno en serie y otro en derivación, para obtener parte de las ventajas de ambos tipos de excitación. Como se ve el campo paralelo se puede conectar de dos maneras.

Los generadores tipo derivación tienen el inconveniente que la tensión en los bornes se reduce al aumentar el consumo, mientras que los gene-

radores conectados en serie, como al aumentar la carga se excitan más los campos (por estar recorridos por la corriente principal de consumo) la tensión en los bornes crece con el aumento de consumo, hasta ciertos límites, por supuesto. Aprovechando las dos características simultáneamente, se tendría que la tensión en los bornes de la dinamo se puede mantener constante a cualquier corriente de carga.

Se tiene así el generador compound adicional, cuyo campo serie no es tan fuerte como el derivación, pues sólo se quiere de él que compense las caídas de tensión que el campo derivación es incapaz de equilibrar.

Otro caso de generadores compound, es el de los equipos de soldar por arco, para corriente continua (soldadura eléctrica). En ellas el trabajo normal es en condición de cortocircuito, que es accidental en los otros tipos de generadores. Los generadores derivación tienen una corriente de cortocircuito muy reducida, mientras que en los tipos serie, es excesiva; combinando ambas características se tendrá una corriente de cortocircuito grande, pero sin llegar a perjudicar la máquina.

Se usa entonces para soldadura los generadores compound diferencial, con sus campos derivación y serie en oposición de efectos, siendo este último no tan intenso como el derivación, pero mayor que en el caso de generadores de tensión constante.

Los bobinados de campo de una máquina deben ser ubicados en las masas polares, y conectados de forma tal que se tengan los sentidos correctos previstos para el campo magnético. Debe ponerse especial cuidado en esto, porque no se obtendrá funcionamiento hasta no cumplir con tal requisito.

Para determinar cuál será el sentido de las líneas de fuerza en un bobinado, se puede emplear la regla práctica del tirabuzón, que es valioso auxiliar en estos casos.

Consideremos, por ejemplo, el caso de una máquina de cuatro polos, sea un motor o un genera-

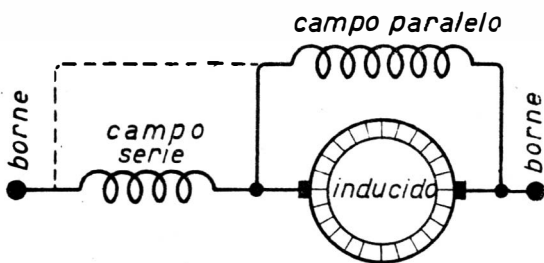


Fig. 38. — Esquema de un generador con excitación compound o mixta.

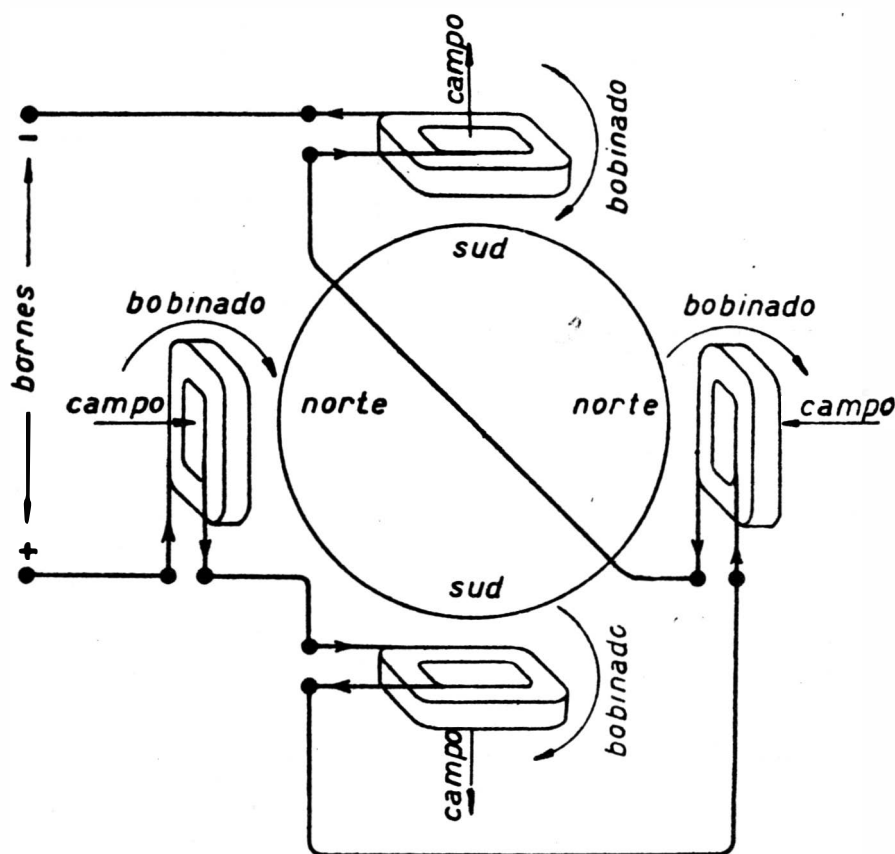


Fig. 39. — Conexiones de los devanados inductores para producir los campos magnéticos con la polaridad debida.

dor, como la ilustrada en la figura 39. De acuerdo con lo visto anteriormente, los campos Norte y Sud están ubicados en la forma normal, y se los ha dibujado en la figura en la posición relativa que ocuparán en la carcasa.

En cada campo hemos marcado el sentido del bobinado y los terminales de entrada y de salida del conductor, es decir, los dos trozos inicial y final del devanado, que son respectivamente los terminales interiores y exteriores.

Sabiendo cuál debe ser la polaridad magnética que corresponde a cada campo, se ha indicado con una flecha el sentido que deben tener las líneas de fuerza del campo, para lo que remitimos al lector a la figura 35, donde está indicado el recorrido de las mismas líneas de fuerza.

El problema consiste en determinar cuál debe ser el sentido de circulación de la corriente en cada bobina para obtener un campo magnético de las direcciones marcadas. Se resuelve aplicando la regla del tirabuzón, ya mencionada.

Se hace girar el tirabuzón de manera que avance en el sentido de las flechas que señalan el cam-

po, y se observa cual es el giro de la manija del mismo al moverlo. Ese sentido debe coincidir con el de circulación de la corriente, que en la figura hemos indicado con flechas. Resta ahora conectar entre sí los campos, para que la corriente de excitación siga un circuito cerrado y siempre en un mismo sentido. Las conexiones marcadas en la figura dan la solución propuesta, que no es la única, pues basta unir la salida de corriente de una bobina con la entrada de otra, para obtener el mismo resultado.

La serie así formada se debe unir a los bornes de la máquina, respetando la polaridad indicada en la figura, es decir que se unirá el borme positivo al terminal de la serie que corresponde a la entrada de corriente a los campos y el negativo al de salida.

Otro método práctico consiste en arrimar una brújula a cada masa polar, estando el bobinado de campo o inductor conectado. La aguja de la brújula se desviará en un sentido para los polos norte y en el otro para los sud. Es cuestión de ir haciendo las conexiones de manera que se tengan desviaciones alternadas, una para un lado y una para

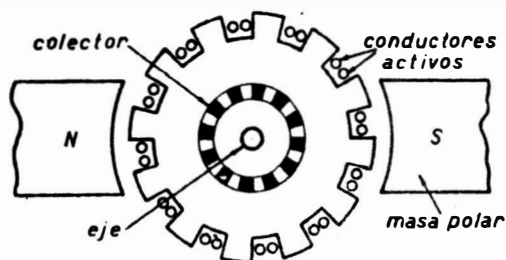


Fig. 40. - Corte esquemático del inducido de un generador eléctrico.

el otro a medida que se van recorriendo los distintos polos, uno tras otro. Para este trabajo no es necesario que la máquina esté funcionando, pues puede alimentarse el inductor con una fuente auxiliar.

Bobinado del inducido

La segunda parte del generador o su segundo circuito es el inducido, con su núcleo de hierro y su bobinado o devanado. La figura 40 muestra un corte esquemático, para apreciar las ranuras del rotor donde se alojarán los conductores de este bobinado, todos los cuales estarán conectados al colector, una bobina a cada delga. Todo el devanado se hace cerrado, es decir, con recorrido continuo, pero las bobinas quedan abiertas, teniendo sus extremos unidos a delgas contiguas o no del colector. Para representar los bobinados se emplea la forma desarrollada, suponiendo que se puede ver al mismo tiempo todo el contorno del rotor y colector. Las ranuras, en esta forma quedarán todas paralelas, en un mismo plano. Las escobillas se suelen dibujar debajo del colector, para facilitar la comprensión del dibujo.

Se pueden distinguir dos grandes grupos de devanados de inducido: el *ondulado* o serie y el *imbricado* o paralelo. Este último es, en realidad, el único que se asemeja en su trazado al antiguo arrollamiento en anillo. La diferencia fundamental entre ellos es que, mientras uno tiene sus dos extremos de la bobina elemental unidos a delgas contiguas o casi contiguas del colector (éste es el imbricado) el otro tiene los extremos de la bobina alejados entre sí, en las conexiones al colector (es el ondulado).

Para distinguir mejor las diferencias entre ambos tipos, definiremos algunas características típicas del trazado de los bobinados, que convencionalmente se han aceptado en casi todas las publicaciones sobre este tema.

Como una espira está compuesta por un conductor de ida y otro de vuelta en la periferia

del inducido, para que se sumen las fuerzas electromotrices es necesario que los dos lados de la bobina estén bajo masas polares de distinta polaridad, así se inducirán corrientes de sentidos contrarios, y recorrerán en forma continua la bobina.

Veamos, para aclarar lo dicho, la figura 41. El primer conductor activo que aparece a la izquierda está en un momento determinado bajo el polo Norte, y se inducirá en él una corriente que hemos supuesto ascendente en la figura; el otro lado de la misma espira deberá estar en ese mismo instante bajo el polo Sud, para que la corriente de él sea descendente y forme recorrido continuo.

La distancia entre los lados mencionados de la bobina se llama *paso elemental* o *de bobina* y_1 , y está indicado en la figura.

Si el devanado es del tipo que hemos llamado *imbricado* el conductor debe dirigirse ahora hacia la delga inmediata de donde partió, cumpliendo un paso de vuelta que debe ser, lógicamente, algo menor que el de ida, esto es, el *paso elemental* y_2 , también indicado en la figura. Resulta que los pasos elementales deben ser iguales o casi iguales al *paso polar*, que es la distancia entre los ejes de dos polos consecutivos.

La distancia que media entre los comienzos de dos bobinas consecutivas, se llama *paso resultante* y . En este detalle difieren fundamentalmente los devanados imbricados y ondulados. El bobinado de la figura 41 es imbricado, y en ellos el paso resultante es la diferencia entre los dos pasos elementales, es decir:

$$y = y_1 - y_2$$

Sobre el colector también habrá un paso, que es la distancia entre dos conexiones sucesivas,

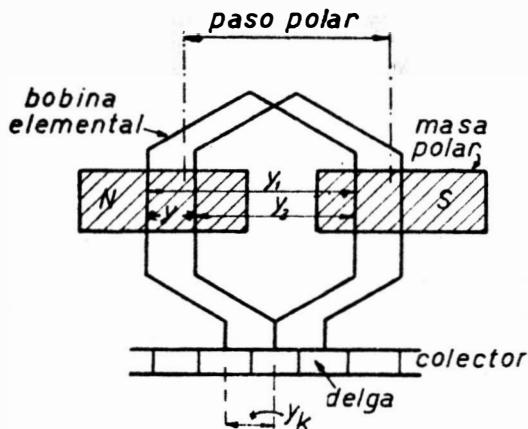


Fig. 41. - Indicación de los pasos en un devanado imbricado.

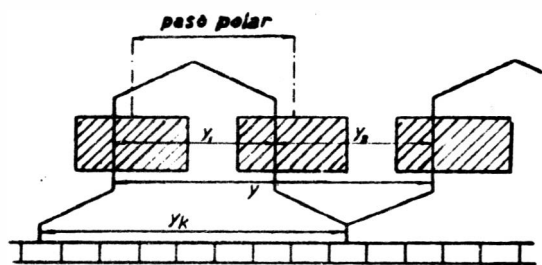


Fig. 42. — Indicación de los pasos en un devanado ondulado.

correspondientes a dos bobinas inmediatas eléctricamente, es decir dos bobinas que se suceden en el recorrido de la corriente. Es el *paso de colector* y_k , que en el caso de los devanados imbricados es reducido (muy comúnmente igual a uno) siendo igual a 1 en la figura.

Los pasos se acostumbra a medirlos por cantidad de elementos, en lugar de las distancias angulares respectivas, es decir, que los pasos de bobina se tomarán como cantidades de conductores que se encuentren sucedidos en la periferia, avanzando en un sentido determinado, a lo largo de la misma; el paso polar se medirá como una cantidad de ranuras del inducido, y el de colector, como una cantidad de delgas de aquel.

La figura 42 representa esquemáticamente el principio de ejecución de los devanados ondulosos. Se puede ver que, si bien el primer paso elemental y_1 puede ser igual al de un bobinado imbricado, el segundo paso de bobina se hace en avance, en lugar de retroceso como en aquéllos. El paso resultante será, pues, la suma de los dos pasos elementales, es decir:

$$y = y_1 + y_2$$

y como cada paso elemental es casi igual al paso polar (se verá oportunamente por qué no puede ser exactamente igual), el paso resultante será casi el doble del paso polar, o sea abarcará una distancia cercana a la que hay entre los centros de dos polos no consecutivos. La figura tiene indicados los dos pasos elementales y el resultante.

El paso de colector es, en estos devanados, grande, pues el comienzo y fin de bobina no se conectan a delgas contiguas del colector, como en los imbricados.

La bobina elemental de un devanado no está formada necesariamente por un conductor de ida y otro de vuelta, sino que tiene varias espiras completas antes de ser conectada a la delga correspondiente del colector.

Al construirla, se la arrolla sobre formas especiales de madera, dando el número de vueltas necesarios alrededor de la misma, y dejando el comienzo y fin de la bobina para la conexión a las delgas respectivas del colector. Terminada la bobina, se la envuelve totalmente con cinta de algodón, arrollando la misma alrededor del haz de alambres que forman cada uno un lado de espira, y de aquí en adelante se llama lado de bobina al haz de conductores activos que forman el paquete de alambres envueltos.

La bobina terminada se trata como si fuera un conductor único para los cálculos y para su colocación en las ranuras del inducido. La figura 43 aclara lo dicho, mostrando la forma esquemática de una bobina de un arrollamiento imbricado, a la izquierda, y uno ondulado a la derecha, compuestas por tres espiras elementales cada una (no se ha dibujado bobinas de más espiras para evitar la complicación del dibujo y no porque no tengan más en la práctica).

Nótese que la bobina terminada, cuando está sin conectar, no se diferencia si es de un bobinado imbricado o de uno ondulado, pues los trozos de conductor terminales se pueden doblar hacia adentro o hacia afuera, según el tipo de devanado de que se trate.

Es común encontrar en una misma ranura del rotor el comienzo de una bobina y el fin de otra, siendo más raro que una máquina tenga en las ranuras del inducido un solo lado de bobina o más de dos lados.

Tienen en cada ranura un solo lado de bobina, cuando el diseño ha sido tal que ha resultado un número de bobinas igual a la mitad de ranuras del rotor, lo que no es frecuente.

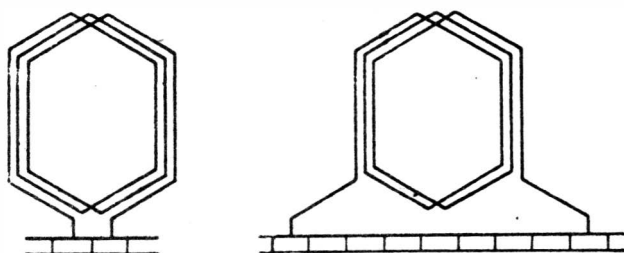


Fig. 43. — Cada bobina tiene varias espiras en ambos tipos de bobinados.

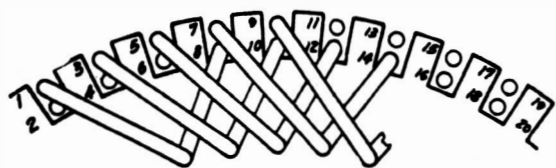


Fig. 44. — Forma de colocar las bobinas en las ranuras del rotor.

Tienen más de dos lados de bobina por ranura cuando el número de bobinas no es igual al de ranuras, cosa que se encuentra a menudo en la práctica, especialmente para máquinas de rotores de diámetros pequeños para la cantidad de bobinas que necesitan, recurriéndose entonces a colocar en cada ranura más de dos lados de bobina, por ejemplo cuatro o seis.

Lo más usual es que el número de ranuras sea igual al de bobinas, para máquinas comunes, debiendo entonces colocarse dos lados de bobina en cada ranura del rotor, una debajo de la otra, denominándose el devanado de este tipo *a doble capa*.

La figura 44 muestra la forma de colocar las bobinas para este último caso, pudiendo verse que el haz de conductores que hemos llamado *comienzo* de la bobina, están siempre en la misma posición, que es la superior en la figura, y los lados *finales* están siempre en la otra posición, que en la figura es la inferior.

Puede invertirse la posición relativa, pero manteniéndola para todo el bobinado, es decir, poner siempre los comienzos debajo y los fines arriba de los anteriores.

En los esquemas de bobinados se acostumbra a dibujar los dos lados de bobina que están en la misma ranura uno al lado del otro, para facilitar la comprensión de aquellos, pero se suele indicar con línea llena el que está en la posición superior, esto es, en la posición más alejada del eje del rotor, y con línea punteada el lado que está en la parte inferior, más cerca de dicho eje.

Además, por razones de simplicidad, el lado de bobina se representa con una sola línea, cualquiera que sea la cantidad de conductores que forme el haz del paquete, aclarando cuál es ese número, que se repite para todas las bobinas.

Obsérvese en la figura 44 los números que están al lado de todos los lados de bobinas. Ellos se reproducen en el esquema desarrollado para facilitar la fijación de los pasos que, como se dijo, se miden por un número de lados de bobina. Así, en el caso de la figura citada el paso elemental de avance y_1 es 7, puesto que desde el lado inicial de bobina marcado con el número 1 hay que recorrer siete lados más para llegar al otro lado de la

misma bobina. El paso elemental de retroceso y_2 , si se trata de un devanado imbricado, será probablemente igual a 5 y la bobina se conectará por el otro extremo del rotor que no se ve en la figura del lado 8 al lado 3, cumpliéndose el paso elemental 5.

El paso resultante, contado como lados de bobina, resulta así de 2, puesto que hemos pasado de lado 1 al 8 para volver al 3, siendo entonces igual a 2 el paso resultante mencionado.

Bobinados imbricados

Son los que se construyen con dos o más ramas en paralelo, es decir haciendo los dos pasos elementales en distinto sentido. Se utilizan en máquinas que trabajan en tensiones no muy grandes, y sobre todo cuando la intensidad de corriente es importante, puesto que se la puede dividir en varias ramas, conectadas en paralelo dentro de la armadura.

La característica sobresaliente de estos bobinados es que el número de ramas en paralelo es igual al número de polos. Expresando lo dicho mediante una condición matemática y llamando:

p = número de polos

a = número de ramas en paralelo del bobinado
se tiene:

$$a = p$$

De lo que antecede, resulta que el número de escobillas debe ser igual al número de polos, puesto que cada rama del devanado necesita dos escobillas, una para la entrada y otra para la salida de corriente.

Así, por ejemplo, una máquina bipolar tendrá dos ramas en paralelo y dos escobillas; una máquina tetrapolar tendrá cuatro escobillas y cuatro ramas en paralelo en el bobinado, etc.

La figura 45 nos muestra un ejemplo de bobinado de inducido para máquina de 4 polos. Tiene 16 ranuras y 16 delgas en el colector. Los pasos de bobinado, contados como lados de bobina, son: 9 de avance y 7 el de retroceso, marcados en la figura. Hay 4 escobillas, como corresponde a un bobinado imbricado de 4 polos: las flechas marcan los sentidos de las corrientes inducidas en el bobinado.

Bobinados ondulados

Los bobinados que se construyen con sus pasos siempre en avance, que adelantan siempre en su recorrido a lo largo del rotor, se denominan *ondulados* o tipo serie. Se utilizan en máquinas en que la

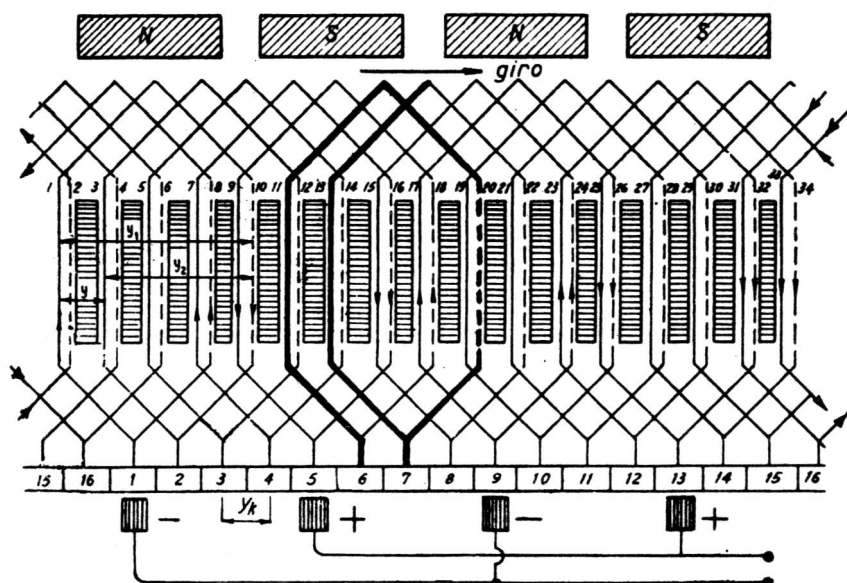


Fig. 45. — Bobinado imbricado para máquina tetrapolar.

tensión entre bornes es más o menos grande y la intensidad es más reducida, pues tienen, en general, menor número de ramas en paralelo que los imbricados. La característica sobresaliente de los devanados ondulados simples es que el número de ramas en paralelo es siempre

$$a = 2$$

cualquiera que sea el número de polos. De esto resulta que harán falta sólo dos escobillas para máquinas de cualquier número de polos. No obstante, se suele colocar tantas escobillas como po-

los, para mejorar la conmutación.

La posición relativa de las escobillas mínimas necesarias no siempre es diametral, pues para máquinas de cuatro polos se colocan dos escobillas a 90° entre sí. Para las bipolares, las dos escobillas serán diametrales.

Los bobinados ondulados no se pueden ejecutar para cualquier número de delgas del colector, o de ranuras del rotor, sino que se deben cumplir ciertas condiciones, sobre todo si las máquinas tienen más de dos polos. Este inconveniente no aparecía en los tipos imbricados.

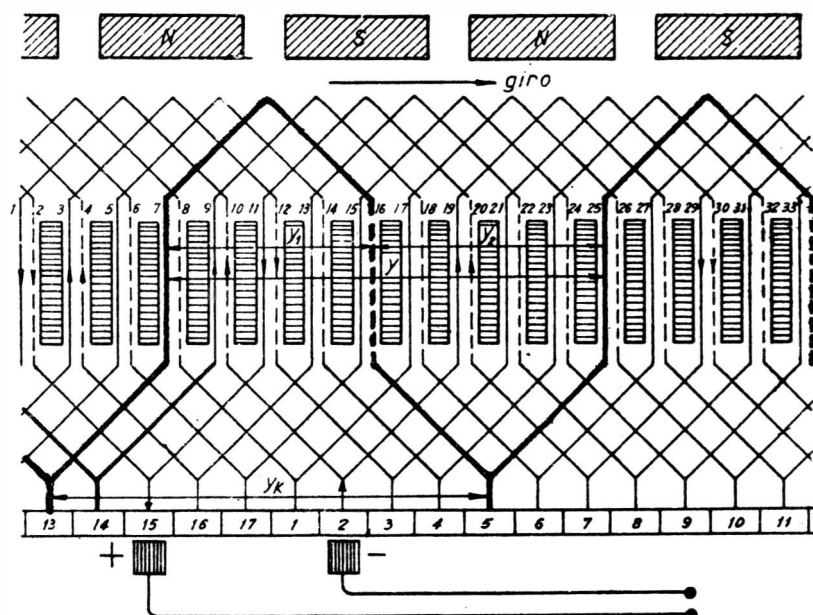


Fig. 46. — Bobinado ondulado para máquina tetrapolar.

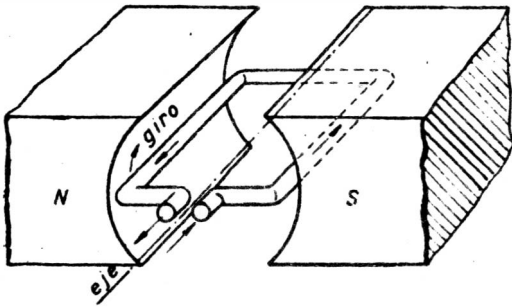


Fig. 47. — Principio de funcionamiento del motor eléctrico.

La figura 46 nos muestra el trazado de un bobinado ondulado para un inducido de una máquina tetrapolar. Tiene 17 ranuras y hay también 17 delgas en el colector. Los pasos están indicados en la figura, y contados como lados de bobina son 9 y 9, que sumados dan 18. El paso de colector es 17.

Mayores detalles de bobinados, así como la técnica del trazado, deben buscarse en las obras especializadas, pues no es ése el objeto de la presente.

Motores de corriente continua

La experiencia permitió encontrar un interesante fenómeno de aplicación inmediata en la Técnica: se trata de las acciones recíprocas de carácter dinámico entre las corrientes eléctricas y los campos magnéticos. Se observa que si se coloca un conductor recorrido por corriente dentro de un campo magnético, se origina una fuerza que tiende a moverlo. La fuerza es tanto mayor cuanto mayor intensidad tiene la corriente y cuanto más denso es el campo magnético. Además, el efecto aumenta si se toman conductores de mayor longitud.

Para apreciar el fenómeno, tomemos nuestra espira colocada dentro del imán, que utilizábamos para demostrar cómo funcionaban los generadores (figura 47) y hagamos pasar corriente por ella. Estaremos en las condiciones en que debe aparecer una fuerza y así sucede. Se verá que la espira comienza a girar.

El sentido de giro está determinado por una regla práctica llamada *de la mano izquierda*. Dice que si se coloca la palma de la mano izquierda estirada, de modo que reciba perpendicularmente las líneas de fuerza (ver figura 48) y que los dedos estirados señalen el recorrido de la corriente, el pulgar mostrará el sentido de desplazamiento del conductor. Así en el caso de la figura 47 consideremos la parte de la izquierda de la espira, y coloquemos la mano con la palma vuelta hacia el polo nor-

te a fin de recibir las líneas. Los dedos se colocan en posición saliente del papel y notaremos que el pulgar señala hacia arriba; luego la espira tenderá a girar como las agujas del reloj. Si aplicamos ahora la mano en la mitad derecha de la espira, notaremos que se obtiene el mismo sentido de giro.

Resulta entonces que la espira tendrá un movimiento giratorio hasta llegar a la posición vertical superior, donde no corta más líneas de fuerza por desplazarse sus dos ramas en dirección paralela a las líneas (que van de N a S). El movimiento debería cesar, pero por inercia la espira pasa de esa posición y comienza la segunda media vuelta. Pero se nota en seguida que ahora el sentido de corriente en los lados de izquierda y derecha cambia, pues en la izquierda tendremos corriente hacia adentro y en la derecha, hacia afuera. El giro, según la regla de la mano, debe cumplirse en sentido contrario.

En tales condiciones, el dispositivo no servirá, pues se tendría un movimiento oscilante como el de un péndulo. Para tener un movimiento circular continuo, se debe invertir el sentido de la corriente en la espira cada media vuelta de la misma, y para ello se emplea el colector o conmutador que vimos en los generadores. En efecto, si volvemos a la figura 31 y estudiamos el funcionamiento, veremos que como las escobillas están fijas y la espira gira, la corriente siempre será saliente en la izquierda y entrante en la derecha. Claro está que no se emplean dos delgas solamente, sino que se usan varias, de manera que nos remitimos a la figura 32.

Y hemos llegado a ver que el motor eléctrico de corriente continua no es otra cosa que un generador de la misma clase de corriente, pero al cual,

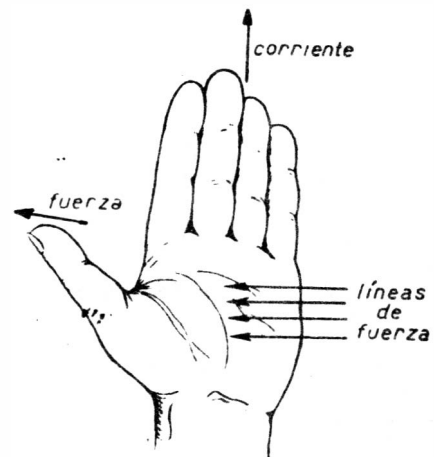


Fig. 48. — Regla de la mano izquierda.

en lugar de aplicarle un motor de impulso para hacerlo girar, lo conectamos a una red eléctrica, obteniéndose un giro que nos suministrará un trabajo útil. Tal es la similitud, que cualquier motor puede trabajar como generador y viceversa. Hemos hecho hincapié en que se trataba de corriente continua, que es la clase de corriente que hemos tratado hasta aquí, para que no se crea que las máquinas de corriente alternada son también reversibles, es decir los motores pueden servir de generadores, lo que no se cumple.

Podemos entonces ahorrar la descripción de los bobinados del estator y del inducido, pues ya sabemos que en lugar del imán permanente se emplean polos bobinados, en número de 2, 4, etc., siempre pares, y que el rotor tiene un devanado continuo, que ya aprendimos a trazar. Lo mismo con respecto a los demás elementos, como ser las escobillas, portaescobillas, carcasa, colector, etc. No hay diferencia constructiva entre un motor y un generador para corriente continua.

En las máquinas muy grandes, se presentan leves diferencias de detalle entre los motores y los generadores, pero que son de carácter especial y no afectan a la teoría del funcionamiento. Por tal motivo no serán mencionadas.

Refiriéndonos a la excitación, los motores, igual que los generadores ya vistos, pueden tenerla en

derivación, en serie, o compound. La excitación independiente es poco usada.

La *excitación en derivación* permite obtener una característica de velocidad poco variable, la cual sólo disminuye al realizar el motor un esfuerzo grande. Por este motivo, son de utilización general en talleres y aplicaciones comunes.

La *excitación en serie* tiene la curiosa particularidad de que la velocidad es muy variable, y precisamente en forma inversa con el esfuerzo que realiza el motor. Así a bajo esfuerzo tiene gran velocidad, y a gran resistencia marcha despacio. Piénsese que tal característica es ideal para vehículos, grúas, etc., donde en el arranque se necesita un gran esfuerzo con baja velocidad, y en marcha mayor velocidad y menor resistencia al movimiento.

La *excitación compound* sólo se usa con los campos serie y derivación en oposición de efectos, puesto que en los serie la velocidad baja y en los derivación también, con la carga. Si restamos esos dos efectos se consigue el motor compound diferencial, cuya velocidad se mantiene constante desde el vacío hasta la plena carga. Los esquemas de conexión son similares a los de los generadores, pero volveremos sobre ello en el capítulo de *Instalaciones Eléctricas*.

Día 5

Estamos ya frente a un tema nuevo dentro del libro, como es el de la corriente alternada. No hay que pensar que por el hecho de que en la distribución de la energía eléctrica se ha adoptado en forma masiva el uso de la alternada, haya desaparecido la corriente continua, ya que la encontramos dentro de infinidad de aparatos que la usan. En efecto, dentro de los receptores de radio y televisión, de los tocadiscos y grabadores y de otros aparatos más, hay corriente continua, aunque para conseguirla se empleen pilas secas o se recurra a enderezar la corriente alternada. Es decir que siguen existiendo las dos clases de corriente aunque para usos industriales haya ido desapareciendo la continua en los últimos cincuenta años en forma paulatina para quedar relegada a todas las operaciones eléctricas donde es indispensable, y que son muchas. El estudio de la alternada es entonces muy importante, y desde ya advertimos que hay que prestar mucha atención a la interpretación de sus fenómenos si se quiere seguir adelante, pues debemos declarar que los mismos no son muy simples y de fácil comprensión. No obstante lo dicho hay que encarar el tema y para ello entraremos en el desarrollo de la teoría de la corriente alternada, la cual nos ocupará otras jornadas además de la presente.

CORRIENTE ALTERNADA

Hasta aquí hemos supuesto que la corriente eléctrica en los circuitos era continua, es decir que circulaba siempre en la misma dirección y no mediando causa exterior mantenía su intensidad constante. Para variar la intensidad intercalábamos resistores a cursor y así se conseguían algunos fenómenos como el de inducción mutua o el de autoinducción. Entraremos ahora al estudio de la corriente alternada, de mayor difusión hoy día que la continua, pero cuya concepción requiere un poco de intuición y asimilar correctamente sus primeros fundamentos.

Hemos visto que un generador de corriente continua requiere un conmutador o colector para tener una corriente inducida de polaridad constante. Imaginemos que tomamos tal generador y le quitamos el colector. Veamos qué es lo que sucede en cada conductor que gira dentro del campo magnético.

Tomemos un corte esquemático de nuestro generador especial (ver figura 49) y dibujemos al conductor mediante un círculo, puesto que lo vemos de frente. Supongamos que lo vemos en varias posiciones durante su vuelta completa, las que numeramos del 1 al 8. La posición N° 9 sería nuevamente la N° 1 pues se completa una vuelta. Cada

posición está apartada de la anterior y de la siguiente de un ángulo α (alfa). La polaridad magnética del imán o del electroimán está indicada en la figura.

Si aplicamos la regla de la mano derecha, que nos dará el sentido de la corriente inducida, encontramos que para todas las posiciones de la derecha, de la 1 a la 5, se obtiene corriente entrante al papel, por lo que colocamos una cruz dentro del conductor. Para todas las posiciones de la izquierda la misma regla nos dice que la corriente será saliente y colocamos un punto. Por lo pronto vemos que la corriente, o mejor dicho, la tensión entre extremos del conductor, tendrá diferente signo o sentido durante cada media vuelta.

Ahora veamos el valor de esa tensión que llamaremos e . En la posición 1 el conductor no corta líneas de fuerza por moverse paralelamente a ellas, luego no habrá inducción y la tensión e vale cero. En la posición 3 el conductor corta perpendicularmente a las líneas de fuerza por lo que la tensión inducida será máxima. Lo mismo pasa en la posición 7. En las posiciones intermedias como la 2, la 4, etc., la tensión debe ser menor porque el conductor se mueve oblicuamente y cortará menos líneas.

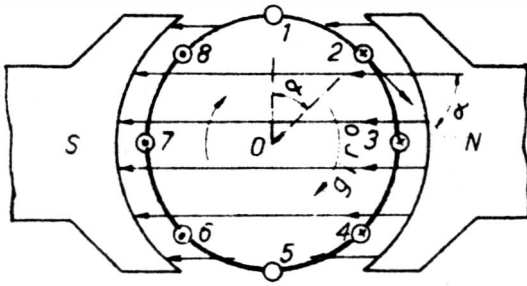


Fig. 49. — Un generador sin colector produce corriente alterna.

Si se hace un gráfico con los sucesivos valores de la tensión durante una vuelta completa, se tiene la curva de la figura 50, que se llama senoide. Se han dibujado los ocho valores para las posiciones indicadas en la figura y después se unieron los puntos obtenidos con una línea curva. Las posiciones N° 1, 5 y 9 tienen un valor cero.

Hemos tomado hacia arriba las tensiones que tenían una cruz como signo y hacia abajo las que tenían un punto. Al tener signos contrarios, una puede ser considerada como positiva y la otra como negativa. El ángulo α va desde 0° hasta 360° en una vuelta completa.

Analicemos los resultados: la tensión obtenida en una vuelta (y en las demás vueltas será igual pues el fenómeno se repite) cambia su polaridad dos veces por vuelta, y sus valores son constante-

mente variables desde cero hasta un valor máximo, vuelven a cero y así sucesivamente. Si el circuito es cerrado circulará una intensidad de corriente de idénticas características; la intensidad de esa corriente será variable y su dirección de circulación se invierte dos veces durante el tiempo que dura la vuelta. Una tensión y una corriente de tales características son *alternadas*.

Puntualicemos: si en un generador de corriente continua no se colocara el colector se recogería corriente alternada y no continua. Luego un generador de corriente alternada o *alternador* no tendrá colector, sino que la corriente se recogerá directamente de su bobinado inducido. Más adelante volveremos sobre este detalle al estudiar estos generadores.

A primera vista no se percibe cuál es la ventaja que puede tener una corriente que tenga su intensidad y su sentido de circulación variables pues parecería que conviene más la continua, con ambas cosas constantes. Pero a poco que se analice y cuando se conocen las razones que la han hecho imponer a la alterna, veremos que tiene indiscutibles ventajas. Ya hemos visto, por lo pronto, que un alternador será más simple que una dinamo, al faltarle el colector.

Circuitos de corriente alternada

Daremos primero algunas definiciones que son importantes para los cálculos relativos a los circuitos de corriente alternada.

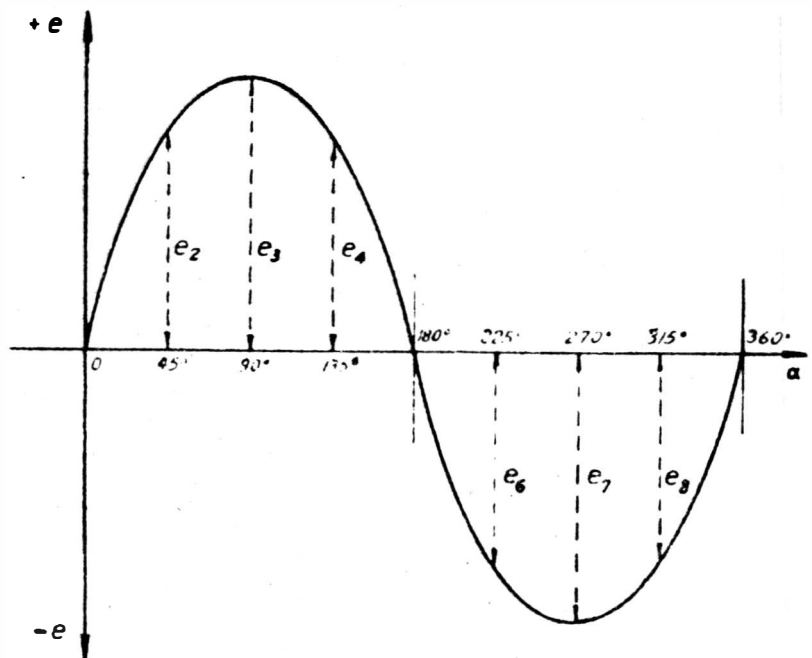


Fig. 50. Gráfico de la tensión inducida durante una vuelta completa.

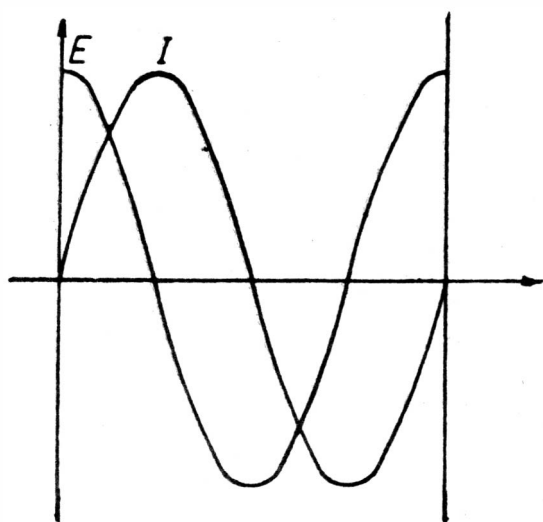


Fig. 51. — La tensión y la corriente en una bobina están defasadas de 90° .

Se llama *frecuencia* de una corriente alternada al número de períodos que suceden en un segundo, o sea el número de ciclos completos como el de la figura 50. Las frecuencias más usuales en la práctica industrial son 50 y 60 períodos o ciclos por segundo (en Argentina hay 50 c/s).

Se llama *valor eficaz* de una tensión o una corriente alternada a los que corresponden a los puntos tales como el 2, 4, 6 u 8, donde se obtienen valores que se ven en la figura 50 y se indican con e_2 , e_4 , e_6 y e_8 . Se ha demostrado que si se toman tales valores para los cálculos en representación de la curva completa, se puede aplicar una serie de leyes que servían en corriente continua. En lo sucesivo nos referiremos siempre al valor eficaz de una tensión o una corriente alternada, sin aclararlo expresamente y prescindiremos de todos los demás valores que ocurren durante el período.

Una *bobina* en un circuito de corriente alterna-

da producirá fenómenos de autoinducción, puesto que éstos suceden toda vez que se hace variar la corriente de circulación y la alternada varía continuamente y con gran velocidad. Como la tensión inducida tiende a oponerse a la causa que la genera, sucederá que cuando la corriente alterna crece la tensión de autoinducción disminuye y viceversa. Si se representan en un mismo gráfico la tensión de autoinducción en la bobina y la corriente que la recorre, se tendrán dos sinusoides como se ve en la figura 51. Las curvas no están superpuestas sino que están *defasadas*. Se ve que la tensión está adelantada en su fase con respecto a la corriente o, lo que es lo mismo, la corriente *atrás* con respecto a la tensión.

Luego, en circuitos con bobinas se tendrá que la corriente está atrasada, es decir, los instantes en que ella es máxima no son los mismos en los que la tensión es máxima y viceversa. Hay un cuarto de ciclo de diferencia entre ambas o sea un ángulo de 90° .

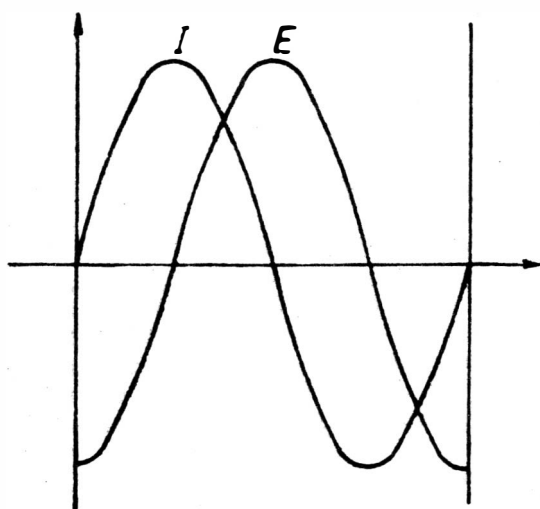


Fig. 53. — La corriente en el capacitor adelanta 90° .

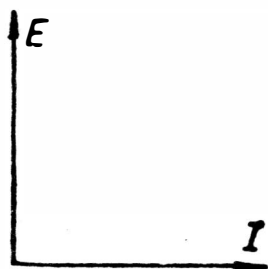


Fig. 52. — Diagrama vectorial de la tensión y la corriente en una bobina.

El *diagrama vectorial* permite visualizar rápidamente ese atraso, en la forma que muestra la figura 52. Se representan la tensión y la intensidad por medio de dos vectores. Y se considera que el giro se produce en dirección contraria a las agujas de un reloj. Como el atraso de la corriente en el caso citado era de 90° , su vector se dibuja formando ese ángulo con respecto a la tensión E . Nótese que hemos usado las letras mayúsculas para la tensión y la intensidad, letras con que se ha convenido designar los valores eficaces de las magnitudes alternadas.

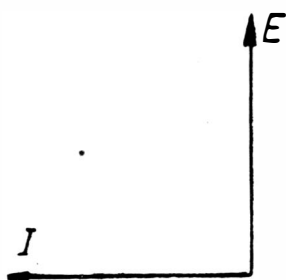


Fig. 54. — Diagrama vectorial correspondiente a la figura 53.

Un *capacitor* es un circuito de corriente alterada produce un fenómeno contrario al de una bobina. Como la tensión entre sus armaduras cambia de signo continuamente, se cargará una vez en un sentido y otra en el contrario. Las cargas eléctricas estarán en un vaivén continuado, y todo pasa como si circulara corriente alterada por el circuito. Pero el desplazamiento de las cargas se hace mayor cuanto más varíe la tensión aplicada, y no hay movimiento cuando la tensión no varía. Luego, si se representan en un mismo gráfico la tensión entre armaduras del capacitor y la corriente del circuito se obtendrá la figura 53 y se ve que las dos sinusoides están defasadas, adelantando la de la corriente. La tensión atrasa 90° con respecto a la intensidad de corriente.

Llevemos esto a un diagrama vectorial, y obtendremos el gráfico de la figura 54 en el que aparecen los dos vectores, el de la tensión, vertical y el de la corriente, que ya ha dado un cuarto de vuelta, o sea 90° . También se han tomado los valores eficaces de ambas magnitudes.

Ley de Ohm para corriente alterada

Hasta aquí hemos hablado de los efectos de una bobina o de un capacitor en un circuito de corriente alterada. Veamos ahora el cálculo de la intensidad cuando se conoce la tensión y viceversa, lo que en corriente continua hacíamos mediante la ley de Ohm.

Un resistor, una bobina o un capacitor ofrecen cierta dificultad al paso de la corriente alterada. El efecto de la resistencia es el mismo que en corriente continua, de modo que si sólo tuviéramos un resistor en el circuito emplearíamos la fórmula:

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

para calcular la intensidad de corriente, dada en

Amper, cuando E se da en Volt y la resistencia R en Ohm.

Una bobina insertada en un circuito al paso de la corriente ofrece una resistencia de carácter especial, que se llama *reactancia inductiva*, pues además de oponerse al paso de la corriente provoca un desfase entre ésta y la tensión. La reactancia de la bobina se calcula así:

$$X = 6,28 f L$$

Donde X es la reactancia inductiva, dada en Ohm (Ω) cuando f es la frecuencia de la corriente alterada, dada en ciclos/seg y L es la inductancia de la bobina dada en Henry, y de acuerdo con una descripción que hicimos en un capítulo anterior.

Un capacitor intercalado en el circuito de corriente alterada ofrece una dificultad al paso de la corriente que se llama *reactancia capacitiva*, que también provoca un desfase de la corriente, pero inverso al de la bobina. La reactancia del capacitor se calcula así:

$$X = \frac{1.000.000}{6,28 f C}$$

Donde X es la reactancia capacitiva en Ohm, cuando f es la frecuencia dada en c/s y C es la capacidad o capacitancia del capacitor, en microfarad, que es la unidad más común.

En cualquiera de los dos casos, bobina o capacitor, para calcular la corriente en el circuito conociendo la reactancia se emplea la ley de Ohm, con la corrección de usar la X en vez de la R :

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

Y las unidades son las mismas que antes, pues X se mide siempre en Ohm. De manera que cuando en un circuito de corriente alterada hay un resistor, una bobina o un capacitor aisladamente, es decir uno solo de tales elementos, no hay problema, pues aplicamos la misma fórmula interviniendo R o X según el caso. Veamos lo que sucede cuando intervienen dos o más elementos.

Comencemos por una combinación de resistor y bobina, según se ve en la figura 55. En los bor-

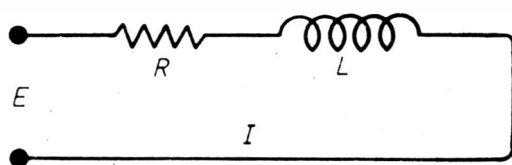


Fig. 55. — Circuito de alterna con resistor y bobina.

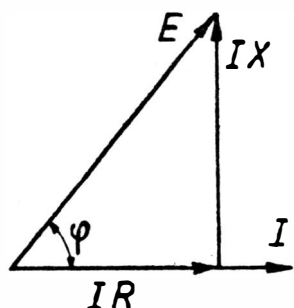


Fig. 56. — Diagrama vectorial del circuito de la figura 55.

nes tenemos una tensión E y circulará una corriente I que queremos calcular. Sabemos que la tensión entre los extremos del resistor estará en fase con la corriente, pues no sucede nada que la haga defasarse. Pero entre los extremos de la bobina la tensión adelanta 90° con respecto de la corriente. Luego, si la tensión en el resistor la damos por el producto IR , según ley de Ohm y la que hay en la bobina la damos por IX , hagamos el diagrama vectorial, pues esas dos tensiones sumadas nos dará la total de la toma E .

En la figura 56 está ese diagrama, donde representamos IR horizontal e IX vertical. Por Física sabemos sumar vectores uniendo el inicio del primero con el final del segundo, de manera que la suma nos da E . Luego vemos que la tensión de la toma y la corriente del circuito no están en fase, pues esta última atrasa un ángulo φ (fi). Para calcular la intensidad de corriente se emplea la fórmula:

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

Donde Z es la *impedancia* del circuito o efecto combinado de la resistencia y la reactancia inductiva. El valor de Z es:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Y si se toma R y X en Ohm, Z resulta dada en esa misma unidad. Veamos ahora como se calcula el defasaje entre la corriente y la tensión. Si observamos la fórmula que da I vemos que se puede

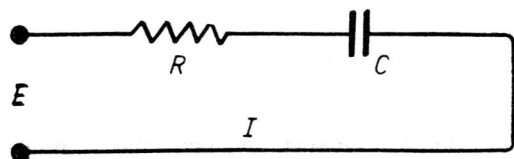


Fig. 57. — Circuito de alterna con resistor y capacitor.

deducir que E es igual a $I Z$, luego en la figura 56 tendríamos un triángulo en el cual los catetos son IR e IX y la hipotenusa es IZ . Si aplicamos a este triángulo los conocimientos de Trigonometría sacamos en conclusión que se puede escribir:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Pues el cociente entre un cateto y la hipotenusa da el coseno del ángulo comprendido. Luego, conociendo la resistencia del circuito y la impedancia por medición por ejemplo, se puede saber cuánto atrasará la corriente, pues en la tabla de cosenos encontramos el ángulo. Y si aplicamos al mismo triángulo el teorema de Pitágoras, resulta que comprueba la fórmula $Z^2 = R^2 + X^2$ que da la impedancia, vista más arriba.

Pasemos ahora al caso de un resistor combinado con un capacitor, según esquema de la figura 57. Haciendo las mismas consideraciones que hemos hechos para el circuito anterior, pero aclarando que la tensión en los bornes del capacitor atrasa con respecto a la corriente, se llegaría al diagrama vectorial de la figura 58.

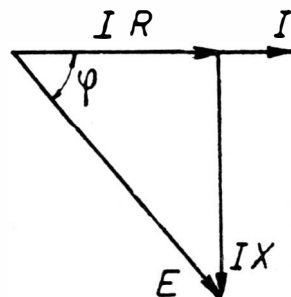


Fig. 58. — Diagrama vectorial de la figura 57.

Sumando los dos vectores que dan la tensión en el resistor y en el capacitor se obtiene la tensión total del circuito E . También en este caso se combinarán los efectos de la resistencia y la capacidad, ofreciendo en conjunto una *impedancia*.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Donde R es la resistencia y X la reactancia capacitiva (del capacitor) ambas en Ohm, con lo que Z resultará en Ohm. La intensidad de corriente estará dada por el cociente ya conocido:

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

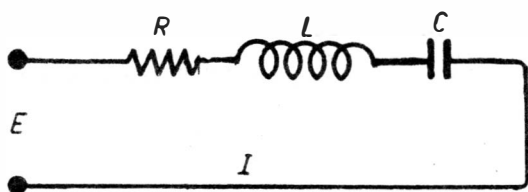


Fig. 59. - Circuito con resistor, bobina y capacitor.

Y vemos que el caso de combinación de reacciones es muy parecido, ya sea una bobina o un capacitor. La diferencia está en que el defasaje de la corriente, que también en este último caso se da por la fórmula del coseno, es ahora en adelante y para la bobina era un atraso.

Y finalmente consideremos ahora el caso general en el que se tienen los tres elementos combinados: resistor, bobina y capacitor, según esquema de la figura 59.

Por análogas consideraciones llegaríamos a la conclusión que la intensidad está dada también en este caso por el cociente entre la tensión E y la impedancia total del circuito Z , pero en su cálculo deben intervenir los tres elementos. El valor de Z se calcula con la misma fórmula que hemos visto dos veces ya, pero haciendo la salvedad que la reactancia X que hay que colocar en tal fórmula está dada por la diferencia entre la reactancia de la bobina y la del capacitor:

$$X = X_L - X_C$$

Donde hemos puesto una letra como subíndice de las dos reactancias a restar para distinguir la de la bobina de la correspondiente al capacitor.

Potencia de la corriente alternada

En corriente continua vimos que la potencia estaba dada por el producto entre la tensión y la intensidad de corriente. En alternada pasa lo mismo sólo cuando esas dos magnitudes están en fase,

es decir en circuitos en los que hay resistencia pura, como son los de lámparas, calentadores, en fin artefactos de luz o calor. Si hay bobinas o capacitores la fórmula de la potencia se modifica con el agregado de un nuevo factor:

$$W = E I \cos \varphi$$

Que ya nos es conocido y que por aparecer en esta expresión se suele llamar *factor de potencia*. Conociendo pues la tensión, la intensidad de corriente y el coseno del ángulo de defasaje entre ésta y la tensión se puede calcular la potencia puesta en juego en el circuito. Viceversa, midiendo la potencia con un wattímetro, la tensión con un voltímetro y la corriente con un amperímetro, se puede calcular el factor de potencia con una fórmula que se deduce por Álgebra de la expresión de la potencia:

$$\cos \varphi = \frac{W}{E I}$$

Usada con frecuencia para este fin. En las tablas trigonométricas se encuentra el ángulo correspondiente a este coseno.

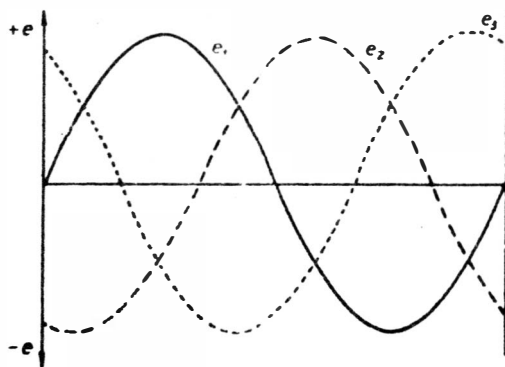


Fig. 61. - Representación de las tres tensiones de un sistema trifásico.

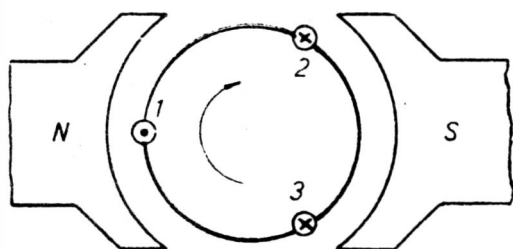


Fig. 60. - Tres conductores giran en el campo magnético y dan un sistema trifásico.

Circuitos trifásicos

Hasta aquí hemos supuesto que dentro del campo magnético de la Figura 49 se movía un solo conductor, o un bobinado completo, pero uno solo, y que la tensión en tal conductor tenía una fase de variación senoidal. El circuito se formaba como cualquiera de las figuras 55, 57 o 59. Tales circuitos se llaman *monofásicos*.

Supongamos ahora que colocamos dentro de aquel campo magnético tres conductores aislados entre sí, según se ve en la figura 60. Están apartados de 120° uno del otro y giran manteniendo ese

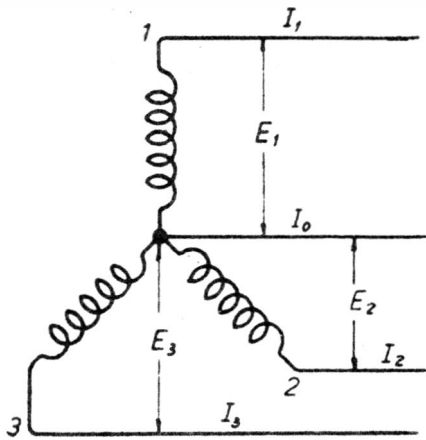


Fig. 62. - Conexión en estrella.

ángulo. En cada uno de ellos se obtendrá una tensión alternada sinusoidal que estarán defasadas entre sí de 120° , puesto que cuando el conductor 1, por ejemplo, corta perpendicularmente a las líneas, se tiene en él la tensión máxima, pero en ese instante no sucede lo mismo en las otras dos. Representando las tres tensiones en un mismo grá-

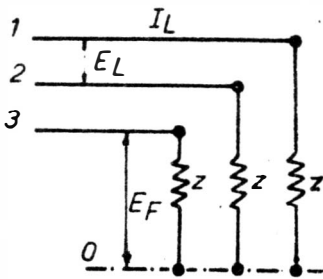


Fig. 63. - Conexión de la carga a una red en estrella.

fico obtendremos la figura 61. Tal sistema se llama *trifásico* y con él se pueden formar tres circuitos, en la forma que veremos.

Por lo pronto los tres conductores de la figura 60 serán en la realidad bobinados completos en el alternador, y se pueden conectar en dos formas distintas. Una es la conexión en *estrella* y la otra en *triángulo*. La conexión en estrella se ve en la figura 62. Un extremo de cada bobinado se une con los otros en un punto común llamado *neutro*, que forma un borne de la red. Los otros extremos forman los otros tres bornes vivos. El neutro se suele conectar a tierra, pues tiene potencial cero.

Entre los puntos 1, 2 ó 3 y el punto neutro 0, se tiene la tensión llamada de fase, y que se indica

en la figura con E_1 , E_2 ó E_3 , que son iguales entre sí. La figura 63 muestra cómo se conecta a la red el circuito de consumo, constituido por impedancias cualesquiera, repartidas en las tres fases. Entre los puntos o hilos 1 y 2, ó entre el 2 y 3 ó entre el 3 y 1, hay una tensión mayor que la de fase, de valor:

$$E_L = 1,73 E_F$$

Llamada *tensión de línea*, y que se calcula multiplicando la de fase por 1,73. Por ejemplo en las

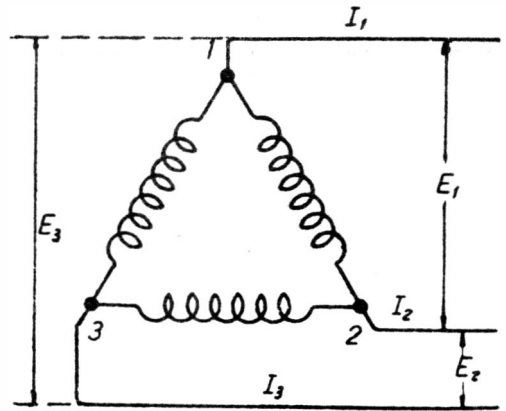


Fig. 64. - Conexión en triángulo.

redes de 220 V de fase, la tensión de línea es de 380 V aproximadamente.

El otro sistema de conexión se llama en triángulo y se muestra en la figura 64. Consiste en conectar las tres bobinas del alternador en serie entre sí, y tomar la conexión de los bornes de la red en los puntos de unión entre ellas. Aquí la tensión de fase es la misma que hay entre las líneas, de modo que no hay tensiones diferentes como en la red estrella. Pero si observamos el circuito de carga que se ve en la figura 65, vemos enseguida que en la línea hay mayor corriente que en cada fase. En

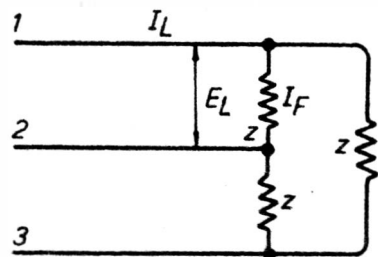


Fig. 65. - Conexión de la carga a una red en triángulo.

efecto, al hilo N° 1 concurren las corrientes de dos ramas, y lo mismo sucede con los otros dos hilos. Se deben sumar dos corrientes de fase para tener la corriente de línea, pero aclaremos que tal suma debe ser vectorial por tratarse de corrientes que no están en fase entre sí. Haciendo cálculos se llega a que la corriente de línea está dada por la siguiente fórmula:

$$I_L = 1,73 I_F$$

Es decir multiplicando la corriente de fase por 1,73. Los tres circuitos de carga están constituidos por impedancias, como si fueran tres circuitos monofásicos independientes, y a los efectos de los cálculos se puede proceder así, tomando cada uno por separado. Nótese que en las redes o circuitos en triángulo no hay punto neutro ni hilo neutro en la línea.

Potencia en sistemas trifásicos

Hemos visto cómo se calculaba la potencia en

los circuitos monofásicos de corriente alternada. No hay ningún inconveniente en proceder de idéntica manera para los trifásicos, tomando cada uno de los tres circuitos por separado. Pero hay una forma de calcular la potencia total de la red trifásica sin considerar separadamente a cada fase.

Para ello se toman las tensiones y las corrientes de línea, que si la red tiene sus cargas equilibradas bastará tomar la tensión entre dos líneas y la corriente que pasa por una línea, pues los demás valores serán iguales. Luego se determinará el defasaje entre esa corriente y esa tensión y se calculará el coseno de ese ángulo. Con esos valores se utiliza la fórmula de la potencia total trifásica:

$$W = 1,73 E I \cos \varphi$$

Recalcando que la tensión se toma en Volt y la intensidad en Amper, y que ambas son los valores de línea. La potencia W resulta en Watt.

Día 6

Ahora que hemos pasado la última jornada el lector coincidirá con nosotros en que el tema era denso y que requería la máxima atención para la interpretación de cada asunto abordado. El efecto de las bobinas y de los capacitores al ser aplicados a un circuito con tensión alterna es interesante pero al mismo tiempo requiere una profunda meditación y análisis subsiguiente. El cálculo de un circuito no es tan sencillo como en el caso de la corriente continua, pero una vez que lo aprendimos no ofrece dificultades. Con lo visto hasta aquí podemos encarar los temas que siguen que también plantearán cuestiones novedosas, a las que hay que prestar la máxima atención. La presente jornada estará dedicada a los generadores de corriente alternada y a los motores que guardan con ellos similitud constructiva y usan similares principios en su funcionamiento. Esos generadores, a los que se llama alternadores tienen importancia porque casi la totalidad de las usinas del mundo están equipadas con ellos. Rogamos a los lectores que recuerden lo dicho algunas veces, de no avanzar en la lectura si se advierte que no se ha comprendido bien un tema ya leído, porque en esta materia hay una ligazón muy cerrada entre todos los asuntos y aparecen grandes dificultades de interpretación si falla un conocimiento previo. Con las apreciaciones formuladas podemos encarar el tema de la presente jornada.

ALTERNADORES Y MOTORES SINCRONICOS

Alternadores

Los generadores de corriente alternada se llaman alternadores. Sabemos en qué principio basan su funcionamiento, pues hasta hacer girar una espira dentro de un campo magnético para que se induzca en ella una tensión alternada. Ahora surge la primera cuestión: si hacemos girar la espira dentro del campo magnético ella cortará las líneas de fuerza, pero también sucederá lo mismo si dejamos la espira fija y hacemos girar al campo, es decir a los electroimanes que lo producen. ¿Cuál de los dos sistemas es más conveniente? El segundo, puesto que en la espira tendremos fuerte corriente, que es la misma que se utilizará en la red, mientras que en los electroimanes tendremos sólo una pequeña corriente continua auxiliar encargada de producir el campo magnético necesario. Luego la construcción de los alternadores ha sido orientada en ese sentido, ilustrando la figura 66 el principio constructivo aludido.

Claro está que no se colocará una sola espira, sino que se hará un bobinado completo, y la mayoría de las veces trifásico para redes de ese tipo.

Para el funcionamiento del alternador habrá que hacer girar los electroimanes que producen el campo magnético mediante el auxilio de un motor de impulso, que puede ser una máquina a vapor, una turbina térmica o hidráulica, un motor de combustión tipo Diesel o a explosión, etc. Este motor se acoplará al eje del alternador. Además deberemos tener un pequeño generador de

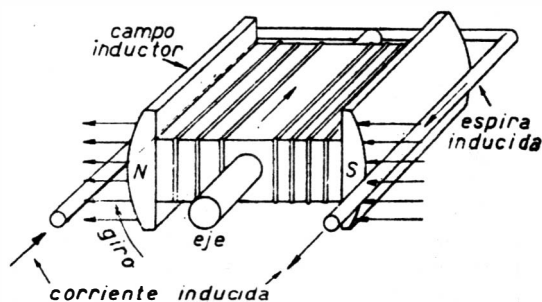


Fig. 66. — Principio constructivo de un alternador,

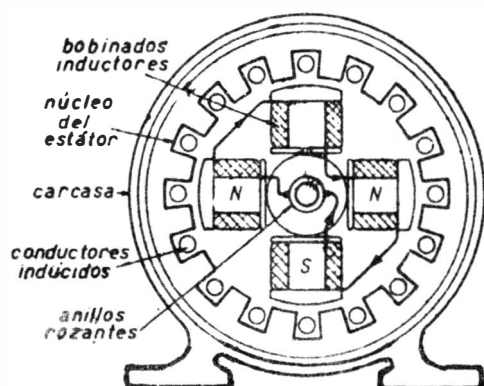


Fig. 67. — Partes componentes de un alternador.

corriente continua que nos alimente los electroimanes inductores. Este generador suele estar acoplado al mismo eje principal del alternador, sea directamente o mediante un juego de poleas y correas. La corriente entra a los bobinados inductores mediante un contacto deslizante formado por dos escobillas que rozan contra dos anillos conductores aislados del eje. Estos anillos están unidos al principio y fin del bobinado de los electroimanes. Si hay dos polos, uno debe ser norte y el otro sud, lo que se consigue en la forma que se estudió para los generadores de corriente continua. El generador de continua se llama *excitatriz*.

Los detalles concernientes a este generador de corriente continua nos son conocidos por haberlos estudiado con anterioridad. Se trata de un generador con excitación derivación, del modelo común, que tiene reóstatos en el circuito inductor y en el inducido para poder variar la corriente de excitación del alternador.

Un alternador está compuesto pues por varias partes perfectamente separadas, cada una de las cuales tiene una misión bien definida. Ellas son: el estator, el rotor, la carcasa y la excitatriz. La figura 67 muestra la ubicación relativa de todas estas partes entre sí, en una representación resumida y más bien simbólica.

Pasaremos revista a cada una de las partes, para destacar lo que de ellas interese y describir los materiales de que están construidas las mismas.

Estator

Está compuesto por el núcleo de chapas de palastro, sujetas formando un paquete mediante una serie de pernos o de chavetas en forma de cola de milano. Las chapas están aisladas entre sí para evitar en lo posible las pérdidas producidas por las corrientes de Foucault, que se traducen en un ca-

lentamiento de los núcleos de hierro sometidos a campos magnéticos alternados, calor que se produce a expensas de la energía eléctrica de la máquina.

El estator tiene ranuras en las que se alojan los conductores activos o inducidos, que forman el bobinado del estator y que se estudiará aparte. Para aislar las bobinas del núcleo se colocan tubos de cartón aislante, abiertos, ocupando una longitud ligeramente mayor que la de la ranura del núcleo.

La figura 68 muestra el aspecto del estator de un alternador, en el que pueden verse las ranuras laterales para la corriente de aire de refrigeración, la que puede ser natural o forzada. Se ven asimismo las ranuras con las bobinas colocadas.

Rotor

El inductor o rueda polar se suele construir de una pieza, para las máquinas de reducidos números de polos, o de un núcleo central macizo, al que se fijan las masas polares, en las máquinas multipolares. El número de polos está ligado a la frecuencia de la corriente alternada inducida y a la velocidad del giro del rotor por la relación:

$$p = \frac{120 f}{n}$$

es decir que el número de polos es igual a 120 veces la frecuencia, dividido por el número de revoluciones por minuto. Como la frecuencia a obtener es un dato (generalmente se adopta $f = 50$) y la velocidad de giro del rotor depende de la máquina propulsora que se elija, el número de polos resultará grande para los alternadores movidos por turbinas hidráulicas o motores de combustión interna y pequeño para los accionados con turbinas a vapor. En el mismo eje del rotor suele

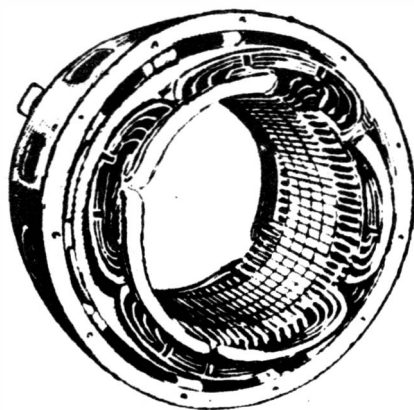


Fig. 68. — Estator bobinado de un alternador.

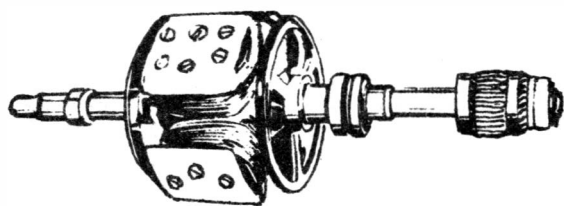


Fig. 69. — Rotor de un alternador, mostrando el inducido de la excitatriz.

estar fijo el inducido de la dinamo que provee la corriente de excitación, aunque a veces esta dinamo puede ser independiente y movida por una transmisión a correas o engranajes.

La figura 69 muestra un rotor de cuatro polos, en el que puede verse las masas y expansiones polares, las aletas de ventilación, los anillos rozantes por los que entrará la corriente a las bobinas de campo y el rotor de la máquina excitatriz. Los anillos están aislados del eje por medio de micanita prensada.

Como se ve la excitatriz está montada del lado opuesto del eje que recibe el accionamiento de la máquina propulsora.

Velocidades sincrónicas de alternadores para
f:50 c/s

Número de polos	r.p.m.
2	3.000
4	1.500
6	1.000
8	750
10	600
12	500
14	428
16	375
18	333
20	300
22	273
24	250
26	231
28	214
30	200
60	100

Carcasa

Es la parte externa de la máquina que envuelve al estator y comprende la cubierta, la base y los cojinetes. En la cubierta se encuentran los conductos y orificios para la ventilación. En los cojine-

tes se aseguran generalmente los portaescobillas para el inductor.

La figura 70 muestra un alternador completo, en el que se puede ver la excitatriz acoplada al mismo eje principal de la máquina, los anillos con los portaescobillas colocados, los orificios para ventilación y la caja de bornes principales en un costado.

La base está formada por un dado de hormigón que debe tener dimensiones adecuadas para absorber las vibraciones que produce el movimiento de la máquina.

Bobinado del estator

Como la mayor parte de los alternadores son trifásicos, sus devanados también lo serán. Para diseñar un devanado hay que tener en cuenta algunos factores importantes, como ser el número de polos, que está ligado a la velocidad por la fórmula que vimos; en las máquinas de continua el número de polos era arbitrario y se elegía de acuerdo con el diseño del generador. En los alternadores debe cumplirse con la expresión que liga la velocidad con el número de polos y la frecuencia.

Otro factor a ser tenido en cuenta es el *número de ranuras* del estator. En la periferia se encuentran una cantidad de ranuras longitudinales en las que se alojarán los conductores inducidos. Para diseñar un bobinado se acostumbra repartir el número total de ranuras en el número de polos y de fases, quedando así un *número de ranuras por polo y fase*, que para bobinados trifásicos vale:

$$a = \frac{N}{3p}$$

Y para que se pueda realizar un devanado ocupando todas las ranuras debe resultar un número

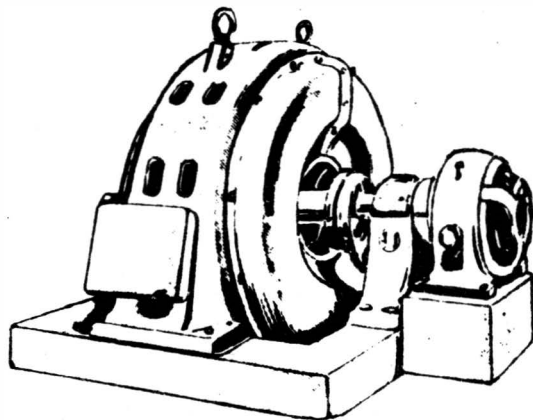


Fig. 70. — Vista de un alternador completo con su excitatriz.

entero. La primera condición es que a sea un número entero.

Los devanados del estator se pueden realizar en dos formas netamente distintas, que se denominan *concentrados* y *distribuidos*. En los primeros se coloca un solo conductor o haz de conductores en una ranura por polo y por fase; así para una máquina bipolar trifásica habría sólo seis ranuras con tres bobinas. Esta práctica se ha dejado por la de efectuar los devanados distribuidos, en los que los conductores se reparten en varias ranuras por polo y por fase.

La razón es que en los concentrados se tenía un pésimo aprovechamiento de la periferia del estator, que resultaba de mayores dimensiones, para poder alojar en una ranura los conductores necesarios por polo y por fase. Además la forma del campo magnético a lo largo del entrehierro no es sinusoidal y se generan armónicas que están presentes en la corriente de salida. Como la ventaja del devanado concentrado es únicamente la de suministrar un poco mayor fuerza electromotriz inducida, no compensa el aumento de dimensiones de la máquina por las razones expuestas. La proporción de f.e.m. inducida en un devanado distribuido con respecto a uno concentrado se llama *factor de distribución* y su valor revela que no se justifica la ejecución de los concentrados. En adelante nos referiremos a los devanados distribuidos.

Dentro de los bobinados distribuidos hay varios sistemas de realizar el arrollamiento a lo largo de la periferia del estator. Las diferencias son de orden constructivo y están determinadas por las cabezas de bobinas, pues como tienen que cruzarse, ello se puede hacer de varias formas distintas.

Distinguiremos entonces dos diferencias fundamentales en la ejecución que se denominan bobinados *en cadena* y *en doble capa*. Cada uno tiene propiedades que lo distinguen:

El *bobinado en cadena* también se lo llama de cabezas distintas porque las bobinas no son iguales entre sí, sino que las hay más cortas y más largas para poder acomodar los cruces en las cabezas frontales. Dentro de los devanados en cadena los hay de cabezas en dos rangos y en tres rangos, es decir con bobinas de dos dimensiones solamente o de tres dimensiones distintas respectivamente.

El reparto de conductores en la periferia del estator es muy regular, con lo que el factor de potencia y el rendimiento de la máquina resultan superiores a los otros devanados que se verán enseguida. Las ranuras son de pequeñas dimensiones pues alojan a un solo lado de bobina, con resultado de buen aprovechamiento del núcleo.

Las bobinas resultan de formas rectangulares, con sus cabezas con combas hacia afuera o hacia

adentro, según el caso.

Se usan en todos los generadores que tienen devanados de bobinas y en los motores de potencia importante, usándose en motores de pequeña potencia cuando no se quiere contemplar el costo de fabricación.

El *bobinado en doble capa* imbricado o de bobinas iguales tiene aspecto que recuerda a los devanados de corriente continua, por cuya razón reciben el nombre de imbricados. Todas las bobinas son iguales entre sí, lo que habla de la posibilidad de hacerlas en plantillas abaratando la mano de obra de ejecución. La cantidad de bobinas resulta igual al número de ranuras y la forma de las mismas es trapezoidal o romboidal. Además pueden hacerse en una sola capa, siempre dentro del tipo de bobinas iguales, si el número de ranuras lo permite.

Estos devanados resultan mejor ventilados que los anteriores por lo que se puede llegar a densidades algo mayores de 4 Amper/mm², aprovechando mejor el cobre. Además resultan de un costo muy inferior de mano de obra, que los hace ideales para fabricación en serie y a bajo costo. Se usan más en motores.

Bobinados en cadena

Veamos cómo se diseñan los bobinados de alternadores. Definiremos previamente lo que se entiende por *paso polar*. Es la cantidad de ranuras que corresponde al cociente entre el total de ellas y la cantidad de polos. Así si un estator tiene 36 ranuras y cuatro polos, el paso polar es igual a:

$$y = \text{paso polar} = \frac{36}{4} = 9$$

El paso del bobinado en los del tipo en cadena, si fueran concentrados, sería igual al paso polar, pero como son distribuidos sólo una o ninguna bobina tiene exactamente el paso polar, y se considera entonces el paso medio del bobinado, que es precisamente el paso polar.

Para aclarar lo dicho, veamos la figura 71. Se han considerado 36 ranuras y cuatro polos, pero no variará mucho el problema si hay distinta cantidad de ellas o de polos, salvo que no se pueda realizar el bobinado a ocupación total de ranuras.

El paso polar es igual a 9 y la cantidad de ranuras por polo y fase es:

$$a = \frac{36}{3 \times 4} = 3$$

de modo que las nueve ranuras de cada polo serán agrupadas de tres en tres, correspondiendo tres

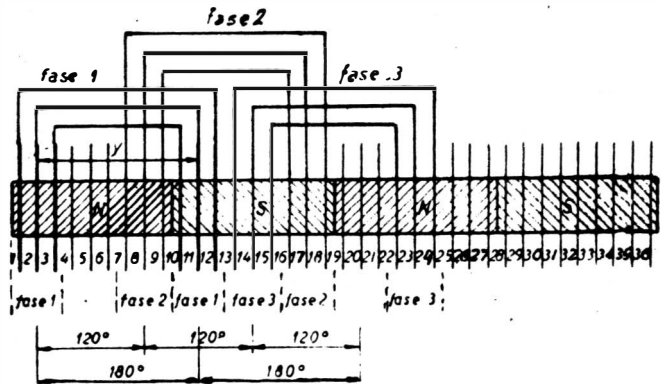


Fig. 71. — Principio de ejecución de los bobinados en cadena.

para cada fase, y así en los demás polos, es decir, debajo de los restantes polos imaginarios que hemos dibujado en la figura.

Como el paso de devanado es igual a 9, en término medio, se toma la bobina media de las tres que corresponden a la fase 1 y se cumple con ella el paso medio de 9, es decir, que se unirá al lado de bobina que está en la ranura 11, pues se partió de la N° 2. La ranura 1 se une con la 12 y la 3 con la 10, con lo que los pasos han resultado de 11 para el lado de bobina N° 1; de 9 para el N° 2 y de 7 para el N° 3. En la figura hemos indicado con "y" al paso medio o polar.

Se podría unir el lado N° 1 con el N° 10 y el N° 3 con el N° 12, con lo que se tendrían pasos iguales para las tres bobinas, pero habría que cruzar entre sí las tres cabezas de bobinas, con gran complicación constructiva y sin beneficios, porque hay bobinados que se diseñan especialmente para no cumplir el paso polar, como los de paso corto y paso largo, con el objeto de uniformar la inducción en el entrehierro y mejorar la forma de onda de la corriente inducida.

Tenemos así conectadas tres bobinas de la fase 1 (por arriba solamente, pero la parte inferior es idéntica) es decir, lo que se llama un grupo de bobinas. Debemos pasar ahora a las otras dos fases, para lo cual debemos hablar de *paso de fase*.

Las tres fases de un devanado trifásico deben estar desplazadas entre sí en el estator, de un ángulo fijo, igual al defasaje natural entre los tres vectores del sistema eléctrico que forma. Este defasaje es de 120° eléctricos, es decir, la tercera parte de un ciclo de la corriente alternada, pues éste tiene 360° eléctricos.

En máquinas multipolares, durante la vuelta del campo magnético se cumple más de un ciclo de la corriente inducida, pues en la de cuatro polos, por ejemplo, al dar una vuelta el rotor, se tienen dos ciclos completos; en la de seis, tres completos, etc., y en general, en máquinas de p polos, la cantidad de ciclos por vuelta será:

$$p/2$$

es decir, la mitad del número de polos, con lo que

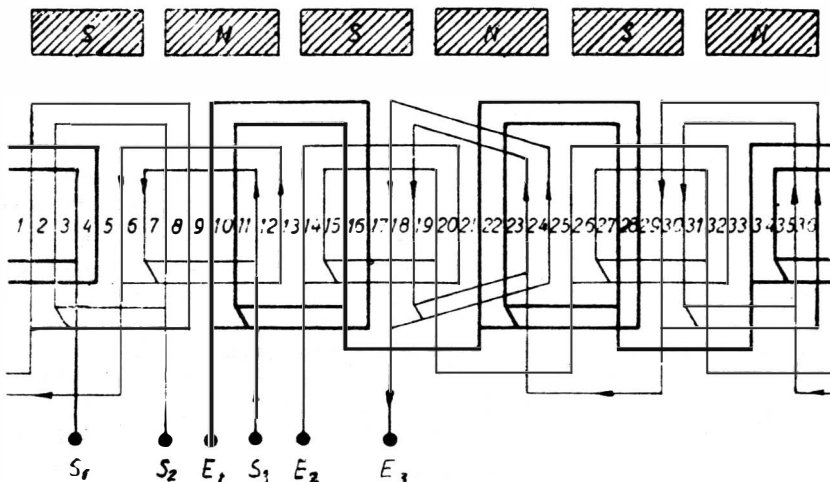


Fig. 72. — Bobinado de seis polos, tipo cadena.

los grados eléctricos serán iguales a los grados geométricos multiplicados por $p/2$, es decir:

$$\text{grados eléctricos} = \frac{p}{2} \times \text{grados geométricos}$$

En el devanado de la figura 72, $p/2$ vale 2, con lo que los grados eléctricos son precisamente la mitad de los geométricos, es decir, que se tomará la mitad de la distancia que correspondía a una máquina bipolar. En lugar de 12 ranuras como paso de fase, se toman 6. Así, si la fase 1 comienza en la ranura 1, la 2 comienza en la 7 y la 3 en la 13, como se ve en la figura.

Si se tratara de una máquina de seis polos, se tomaría la tercera parte de 12 ranuras; y en esta forma, seguiríase aplicando el criterio que emana de las frases explicadas más arriba. Si el número total de ranuras es N el paso de fase es igual a:

$$\text{paso de fase} = \frac{2N}{3p}$$

que permite calcular el número de ranuras que separen entre sí las bobinas de cada fase para máquinas de cualquier número de ranuras y polos.

Aplicando la fórmula anterior al caso de la fig. 71 con 36 ranuras y 4 polos, se tiene:

$$\text{paso de fase} = \frac{2 \times 36}{3 \times 4} = \frac{72}{12} = 6$$

que era precisamente lo que se había dicho.

Siguiendo con el ejemplo, se tomarán las tres ranuras 7, 8 y 9 para la fase 2, y se unirán con las que distan de ellas una cantidad de ranuras igual al paso polar en término medio, es decir, con las N° 16, 17 y 18, en la forma como se ve en la figura. En manera análoga se encuentra el trazado de los grupos correspondientes a la fase 3 y los que faltan de las fases 1 y 2.

Veamos algunos ejemplos de trazado, para aclarar ideas, y ver cuando se deben disponer las cabezas en dos o más planos. La figura 72 muestra un devanado trifásico para 1.000 r.p.m., es decir con bobinado de seis polos, que se muestra completo. Se ve que se puede hacer con cabezas en dos planos siempre que se deforme un poco una sección de una fase. Tenemos 36 ranuras, es decir habrá 2 por polo y fase. El paso polar será de 6 ranuras y el de fase de 4 ranuras, de acuerdo a lo que ya hemos visto.

Las conexiones frontales se hacen en la misma forma que para el caso de 4 polos, pues observando los sentidos de corriente indicados en la figura la solución no puede ser otra.

Y en esta forma se encaran todos los trazados de bobinados de alternadores, cuando son del tipo en cadena, que es el más usado en tales máquinas.

Los devanados en doble capa serán vistos en el estudio de motores de corriente alternada, pues en ellos se usan con mayor frecuencia.

Motores sincrónicos de corriente alternada

Constructivamente, no difieren mucho de los alternadores, salvo en detalles como el espesor del entrehierro, algún devanado auxiliar para el arranque de los motores y otras cosas. Nos referiremos por lo tanto a las mismas ilustraciones dadas en las páginas anteriores, para evitar repeticiones. Se denominan sincrónicos, porque la velocidad de giro depende únicamente de la frecuencia de la corriente de alimentación y del número de polos, siendo independiente de la carga que deba vencer. Esta velocidad está dada por la relación:

$$n = \frac{120f}{p}$$

es decir, por el cociente entre 120 veces la frecuencia y el número de polos del inductor.

De esta propiedad surge la limitación de uso de los motores sincrónicos, que se emplean cuando se requiere una velocidad absolutamente constante. Para los demás casos se prefieren los motores asíncrónicos que, como se verá más adelante son mucho más sencillos y generalizados.

Veamos la figura 66. Coloquemos los mismos elementos que teníamos para explicar el funcionamiento de un alternador y alimentemos la espira fija con la red de distribución de corriente alternada. En un instante determinado, durante medio ciclo de la corriente alternada, la corriente circulará en el sentido indicado por las flechas. Como la corriente es variable también lo será el campo magnético producido por ella y entre este campo y el otro del rotor se ejercerá una acción dinámica que tenderá a desplazar al rotor en un sentido que se obtiene aplicando la regla de la mano izquierda.

En el caso de la figura 66 para la rama izquierda de la espira, colocaremos la palma en posición vertical y vuelta hacia la derecha, de acuerdo con la polaridad Norte. Los dedos estirados deben señalar hacia adentro, pues esa es la dirección de la corriente en el conductor; es decir que la muñeca queda contra el papel y los dedos entrando en él. El pulgar, en tal situación indicará hacia arriba, es decir que el conductor tenderá a ser desplazado hacia arriba, pero como está fijo, el campo magnético será repelido hacia abajo, girando entonces el rotor en sentido contrario al indicado en la figura. (Ese sentido correspondía a un alternador).

Para la rama derecha de la espira se podría demostrar que el movimiento de giro coincide con

el producido en la otra rama, aplicando la misma regla.

Después de transcurrido medio ciclo la corriente en los conductores de la espira cambia de sentido de circulación, pero sí en el mismo tiempo el rotor ha dado media vuelta, también se habrá producido una inversión en los sentidos de las líneas de fuerza, pues tendremos al polo Norte a la derecha y al Sud a la izquierda. Cambiando los sentidos de las corrientes y del campo al mismo tiempo, el movimiento permanece en el mismo sentido.

Esto dice que para que un motor sincrónico comience a funcionar regularmente, se debe tener que el rotor gire a velocidad tal que se produzca al mismo tiempo la inversión de la corriente y de la polaridad magnética en cada punto de la vuelta completa. Como cuando el rotor está detenido ello no es posible, ni tampoco cuando comienza a tomar velocidad, estos motores requieren ser llevados a la velocidad "de sincronismo", que se dio en un párrafo anterior, mediante un motor o un dispositivo auxiliar.

Una vez que el rotor gira con esa velocidad el funcionamiento se hace normal, la acción de repulsión entre el estator y el rotor suministra la fuerza necesaria para que el giro continúe y sólo se detendrá si se corta la corriente del rotor, del estator, o si la fuerza a vencer es mayor que la que puede suministrar el motor, en cuyo caso se dice que el mismo "desengancha", debiéndoselo hacer arrancar nuevamente si se quiere que siga funcionando.

En la práctica ni el estator tiene una sola espira ni el rotor un solo electroimán. El arranque se consigue con un motor auxiliar de potencia re-

ducida o dotando al motor de un arrollamiento especial para que arranque como asincrónico, motor cuyo funcionamiento se verá más adelante. Otras veces, si se dispone de corriente continua, se hace trabajar a la excitatriz encargada de suministrar la corriente de los campos inductores como motor de arranque, alimentándola con esa fuente auxiliar de corriente continua. Cuando el rotor llega a la velocidad de sincronismo se cambian las conexiones y se la conecta de la manera normal, restableciéndose el funcionamiento como motor sincrónico y como excitatriz, respectivamente.

Las partes de que se compone el motor sincrónico son, poco más o menos, las mismas que forman un alternador, por lo que remitimos al lector a las figuras 67 a 69 a fin de que pueda observar cada una de ellas.

La diferencia substancial (y es obvio insistir en ello) es que el alternador tiene su eje acoplado a la máquina propulsora y se recoge en la caja de bornes la corriente inducida que es enviada a la red, mientras que el motor sincrónico se conecta a una red, para que tome de ella la corriente que necesita para su funcionamiento, mientras que a su eje se acopla la máquina que debe ser movida por él, para efectuar cualquier trabajo a que está destinada.

El estator, el rotor y la carcasa no se diferencian fundamentalmente de los tipos ilustrados en las figuras mencionadas, aunque hay algunos motores sincrónicos que tienen el inductor fijo y el inducido móvil, encontrándose los únicamente entre los de potencias reducidas o en modelos experimentales. Por este motivo, omitiremos la descripción de ellos, suponiendo que en la práctica todos los motores son como los descritos anteriormente.

Día 7

Si antes de comenzar a leer el texto programado para este día le echamos una ojeada rápida, veremos tal profusión de circuitos que probablemente nos quedará la impresión de que será imposible recordarlos a todos en el futuro. Es que debido a la difusión masiva alcanzada por la corriente alternada, especialmente para usos industriales, se diseñaron muchos modelos de motores, cada uno apto para un tipo determinado de necesidad o de situación. Y aún dentro de un mismo tipo hay variedades constructivas que obedecen a los distintos efectos que se presentan cuando las potencias son grandes o chicas, cuando se requieren diferentes velocidades, etc. Al entrar en el tema iremos analizando esas situaciones y en cada caso quedará aclarada la razón de la solución adoptada. Pero reconocemos que hay variedad de montajes, si bien no son tantos los principios empleados para diseñarlos. Un implemento agregado para producir una mejora cambia el circuito pero no el principio de funcionamiento, de modo que no hay que suponer que este capítulo nos resultará árido por la diversidad de temas; muy al contrario, la variedad de soluciones encontradas para los problemas lo harán interesante en grado sumo y no dudamos que los lectores lo volverán a leer para deleitarse al comprobar todo lo que ha hecho el hombre en el último siglo.

MOTORES PARA ALTERNA

Motores asincrónicos de inducción

Son los motores más generalizados en la industria que utiliza energía eléctrica como fuente de propulsión, por su sencillez de manejo y porque no necesitan fuente auxiliar de corriente continua como los otros motores ya descriptos (motores sincrónicos). Su característica sobresaliente es que la velocidad no es la llamada *sincrónica*, que tenían los motores de igual nombre, sino que es menor y en grado que depende de la resistencia que debe vencer al girar. Esto quiere decir que en el arranque, y si el motor no tiene acoplado ningún mecanismo para ser accionado por él, el rotor puede alcanzar casi la velocidad de sincronismo, como veremos en seguida, y a medida que se acopla una máquina que debe ser arrastrada en el movimiento giratorio, la velocidad irá disminuyendo, y tanto más cuando mayor sea la resistencia a vencer, hasta un límite que es la potencia máxima del motor y pasado el cual se para.

La diferencia de velocidades relativa a la de sincronismo o, dicho de otra manera, la pérdida porcentual de velocidad con respecto a la sincrónica se llama *resbalamiento*, y alcanza normalmente can-

tidades de 3% al 6% para motores a plena carga, teniendo valores mayores para motores pequeños y viceversa. Sin carga, el resbalamiento es casi nulo.

Así, por ejemplo, un motor de inducción de cuatro polos tendrá a plena carga una velocidad menor que la de sincronismo, en la proporción que se da para el resbalamiento; la velocidad sincrónica es, para máquinas de cuatro polos, si la frecuencia de la red es 50:

$$n = \frac{120 \times f}{4} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

y suponiendo un resbalamiento de 5% para el motor de referencia, la velocidad real será:

$$1500 - 5\% 1500 = 1500 - 75 = 1425 \text{ r.p.m.}$$

que es la velocidad especificada en las características del motor, pues siempre se da la velocidad a plena carga.

En forma similar, tendríamos que los motores de dos polos dan velocidades a plena carga de 2850, pues 3000 es la sincrónica; los de seis polos 950 con 1000 r.p.m. como velocidad sincrónica, etc. Resumimos lo dicho en la tabla adjunta.

Velocidades de motores de inducción

Número de polos p	Velocidad sincrónica r.p.m.	Velocidad con resbala- miento 5%
2	3000	2850
4	1500	1425
6	1000	950
8	750	662
10	600	570
12	500	475

A distintos resbalamientos se determina la velocidad en la forma como se vió más arriba. En las características del motor que suministra la fábrica se especifica la velocidad a plena carga.

Principio de funcionamiento

Supongamos una espira cerrada en cortocircuito y fija a un eje, como lo muestra la figura 73 colocada dentro de otra de mayor tamaño, que se conecta a una fuente de corriente alternada. Al circular corriente alternada por la espira exterior se formará en torno a los conductores un campo magnético, cuya densidad depende de la intensidad de la corriente y que seguirá las variaciones de ella, por lo que dicho campo será también alternado.

Las líneas de fuerza durante la variación del campo barrerán los conductores de la espira interior, con lo que se inducirá en ella una corriente, también alternada, y se ejercerá entre el campo magnético de la espira exterior y la corriente que

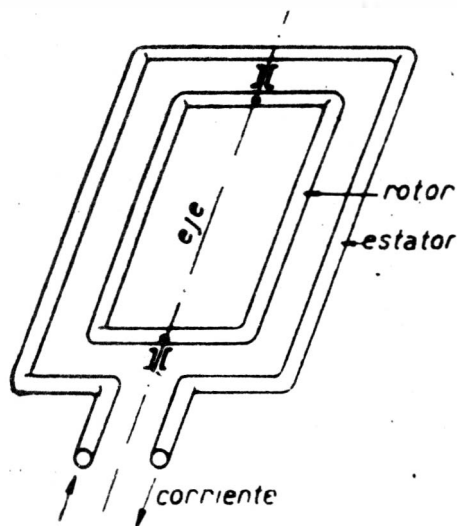


Fig. 73. — Principio del motor asincrónico o de inducción.

circula por la interior una acción dinámica que hará girar a la espira interna.

La espira exterior se denomina *estator* y la interna *rotor* por sus condiciones de inmovilidad y de giro, respectivamente. Cuando el rotor ha dado media vuelta la corriente del estator ha cumplido medio ciclo, o casi medio ciclo, con lo que la acción de repulsión cambia de sentido, pero también el efecto de inducción en el rotor y el giro continúa en el mismo sentido.

Para que se induzca corriente en el rotor, éste no debe alcanzar una velocidad tal que cada media vuelta coincida exactamente con las inversiones de corriente en cada medio ciclo de la espira del estator, porque en tal caso dejarían las líneas de fuerza de cortar a los conductores del rotor. Por este motivo el rotor no puede nunca alcanzar la llamada *velocidad de sincronismo*, sino que se mantiene cerca de ella nada más.

En la realidad, el principio de funcionamiento puede ser descrito en forma mucho más compleja, haciendo intervenir el llamado *campo giratorio* que se produce en el estator, si se estudia lo que sucede en un bobinado distribuido en toda la periferia y alimentado desde una red trifásica, como es usual.

El motor asincrónico es, en lo que se refiere al número y tipo de partes componentes, el más sencillo de cuantos se emplean en la industria, sobre todo si se trata de los de pequeña potencia que baten el "record" de simplicidad.

Las dos partes fundamentales en que se puede separar al motor son: el estator y el rotor, teniendo cada una de ellas algunos componentes que describiremos a continuación.

El estator tiene mucha similitud con el de los motores sincrónicos y los alternadores, vistos en el capítulo anterior y se componen de carcasa, núcleo y bobinado.

La carcasa es la envoltura exterior que sirve de sostén a los otros dos elementos y al motor mismo, pues está provista de los pies de apoyo. Además tiene la caja de bornes para la conexión del motor a la red. La figura 74 ilustra una carcasa de motor de inducción, comprendiendo el núcleo.

El núcleo está compuesto por un paquete de chapas de palastro, aisladas entre sí con papel de seda u óxido del mismo metal que forma la chapa, y con una serie de ranuras longitudinales para alojar el bobinado.

Rotor

Es aquí donde desaparece todo paralelo con los motores sincrónicos, pues mientras los primeros tenían una rueda polar alimentada con corriente continua, con masas polares salientes y devanados

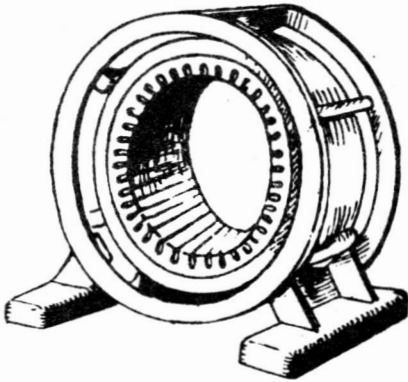


Fig. 74. — Estator de un motor asincrónico de inducción.

cilíndricos, en los asincrónicos no existe nada de eso, sino que se trata de un rotor liso, similar al de las máquinas de corriente continua, con ranuras para alojar los conductores y con anillos rozantes o no, según veremos enseguida.

En los motores pequeños, de potencia reducida, el bobinado del rotor es simplemente una serie de barras conductoras paralelas y puestas en cortocircuito en ambos extremos por aros metálicos (ver figura 79). Las barras se alojan en las ranuras del núcleo del rotor. La construcción moderna las hace de fundición de aluminio, introduciendo a presión en dichas ranuras y formándose en la misma operación los dos aros extremos. En esta forma se abarata la construcción del rotor y su peso, reduciendo las fuerzas de inercia.

Para motores de mayor potencia la corriente en el momento de arranque, como el desplazamiento entre el campo magnético y los conductores del rotor es muy grande, adquiere valores enormes, por lo que se la debe limitar. Para ello se aumenta la resistencia del devanado del rotor, intercalando en serie con el mismo una resistencia de arranque, que se elimina durante el funcionamiento normal.

En algunos motores asincrónicos llamados *centrífugos* se dispone una serie de palancas que ponen en cortocircuito a las resistencias conectadas en serie, actuando cuando la velocidad adquiere valores tales que la fuerza centrífuga vence los resortes de que están provistas.

En los demás tipos de motores, se deben disponer bornes exteriores para la intercalación y eliminación de los resistores, por lo que se colocan en el rotor anillos rozantes y escobillas. En el arranque se intercalan los resistores que se eliminan gradualmente, poniendo finalmente en cortocircuito al bobinado del rotor.

Todos estos rotores, a los que se les intercala

resistores de arranque, son bobinados en lugar de tener barras como los de pequeña potencia.

Para distinguirlos se los denomina rotor a *jaula* a los de barras, por su similitud con una jaula de ardilla, y rotor bobinado a los demás.

La mayor parte de los motores de mediana potencia recurren a procedimientos de limitación de corriente de arranque localizados en el estator, por su simplicidad. Estos sistemas son variados, pero los de uso generalizado son el arranque estrella-triángulo, el transformador de arranque y la conmutación del bobinado del estator.

El arranque *estrella-triángulo* consiste en conectar el bobinado trifásico del estator en estrella en el momento inicial, para limitar la corriente a algo más de la mitad de la normal, y luego, en otra posición de la misma llave, se pasa al trabajo en triángulo restableciéndose la conexión normal.

El *transformador*, o más bien dicho, el autotransformador de arranque disminuye la tensión aplicada al bobinado del estator en el momento inicial, con lo que limita automáticamente la intensidad de corriente. El secundario del autotransformador está provisto de toques, para ir aumentando gradualmente la tensión aplicada hasta llegar a la normal, quedando prácticamente eliminado el dispositivo de arranque.

Similar servicio que el anterior puede prestar un reóstato, pero con grandes inconvenientes, por modificar el factor de potencia y ocasionar pérdidas por calor, por lo que se prefiere el sistema a transformador.

La *conmutación del devanado* del estator divide al mismo en distinto número de ramas en el momento inicial, eliminando luego el cambio mediante una llave conmutadora. Todos los sistemas tienen, como se ve, a limitar el valor de la intensidad de corriente de arranque, que si no se redujera alcanzaría valores varias veces mayores que el de funcionamiento normal, con perjuicio para el bobinado y para la instalación.

El estudio de los sistemas de arranque y de regulación de velocidad, pertenecen a los tratados de máquinas eléctricas, por lo que no insistiremos en estos detalles. Se han citado, simplemente, por la influencia que algunos de ellos tienen en el arrollamiento de la máquina, como es el caso de los rotores de los motores de inducción, cuando se los construye bobinados en lugar del sistema a jaula, o el estator en conexión estrella-triángulo, que debe tenerse en cuenta para calcular el devanado, para que sea posible la conmutación.

Bobinados de motores de inducción

En el estudio de alternadores hemos visto los

bobinados en cadena, que pueden usarse en los motores asincrónicos. Sin embargo, hoy día se han adoptado para casi todos los motores de inducción más o menos chicos, los devanados en doble capa con bobinas iguales, por su simplicidad constructiva. Entre ellos tenemos los *imbricados* y los *ondulados*. Veamos cada tipo por separado.

Bobinados imbricados

Se llaman así por su similitud con los de corriente continua. Pueden hacerse en una o en dos capas. La forma de las bobinas es generalmente trapezoidal una vez colocada, pero al hacerla, si no lleva alambres muy rígidos, puede ser circular u oval y darle la forma requerida al colocarla. En los devanados de doble capa el lado de bobina más corto suele colocarse debajo del más largo.

Hemos visto en los bobinados en cadena que el paso de una bobina era, en término medio, igual al polar, es decir que un lado de bobina estaba debajo de un polo y el otro debajo del polo de nombre contrario inmediato, en posición simétrica con respecto a él.

Si el paso se reduce un poco, la f.e.m. inducida se reducirá también pero se economiza cobre por reducción de longitud del devanado, y precisamente en las cabezas de bobinas donde no se utiliza. La reducción de f.e.m. no es tan importante si el acortamiento del paso es reducido y la ventaja económica, unida a la mejor disposición de las cabezas de bobina y la facilidad de ejecución, han hecho adoptar el paso corto para los devanados imbricados.

La reducción es, aproximadamente, 1/6 del paso polar, de modo que el paso será más o menos:

$$5/6 \text{ del paso polar}$$

Como el paso polar estaba dado en función del número de ranuras y de polos por la expresión:

$$\text{paso polar} = \frac{\text{Número de ranuras}}{\text{Número de polos}} = \frac{N}{P}$$

con esta cifra se podrá adoptar el paso del bobinado, tomando aproximadamente la proporción de él dada más arriba.

El máximo teórico de reducción del paso es la mitad del paso polar, pues en tal caso se produciría una inversión de las corrientes inducidas. Nunca se llega cerca de esa cifra, si se adopta la proporción de reducción propuesta.

Respecto del paso de fase, nada hay que agregar a lo que se vió en los bobinados de alternadores. El se calcula como número de ranuras que hay entre la entrada de una fase y la siguiente:

$$\text{paso de fase} = \frac{2 N}{3 p}$$

Teniendo en cuenta con esto los desplazamientos geométricos y eléctricos, que no coinciden más que para las máquinas de 3.000 r.p.m. de velocidad sincrónica (2 polos).

Veamos algún ejemplo de bobinado, para fijar ideas y mostrar cómo se hacen los puentes frontales. Supongamos que nuestro motor sea de cuatro polos (no hay polos visibles en los motores de inducción) con 24 ranuras en el estator. El bobinado

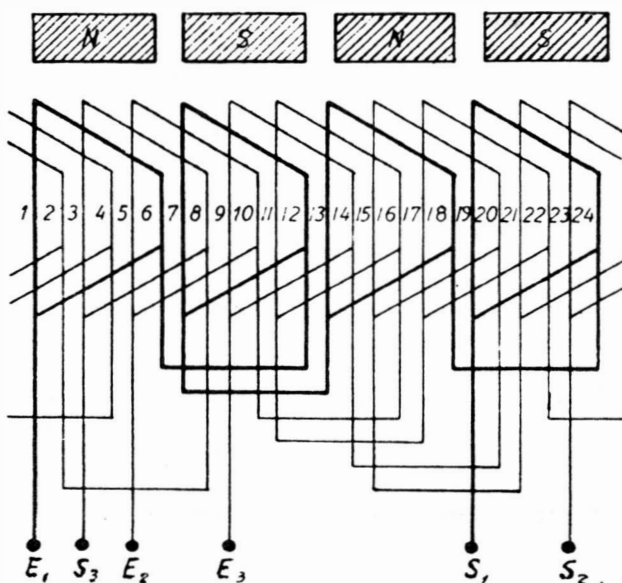


Fig. 75. — Bobinado imbricado de cuatro polos

se traza entonces como se ve en la figura 75. Hay 2 ranuras por polo y fase; el paso de fase es de 4 ranuras y el polar es de 6. Luego el paso de bobinado es de 5 ranuras ($5/6$ del paso polar). La figura muestra también las conexiones frontales a hacer entre los grupos de bobinas que forman cada fase. Cada bobina está formada por un haz de conductores y se representa por una sola línea por simplicidad de dibujo.

Bobinados ondulados

Un arrollamiento ondulado es aquel en el cual las distintas espiras están conectadas de modo que se pasa de una a otra avanzando siempre a lo largo de la periferia del inducido o del estator (según se trate de máquinas de continua o de alternada). El tipo imbricado, en cambio, es aquel en que el paso es en avance y en retroceso, alternativamente.

Además, el circuito de una sección del bobinado, en los imbricados, da una sola vuelta completa de la periferia, mientras en los ondulados da dos o más vueltas antes de terminar su recorrido. En el caso de las máquinas de corriente continua habrá tantos circuitos como los nombrados, como ramas en paralelo haya en el bobinado. Para los ondulados se tienen siempre dos circuitos en paralelo, o dos vías de devanado. En las máquinas de corriente alternada habrá tantos circuitos como fases, y en el caso particular de máquinas trifásicas el bobinado tendrá tres circuitos, pero no conectados en paralelo, como en el caso de corriente continua, sino en estrella o en triángulo.

De modo pues que bajo el punto de vista de la conexión a la red, se tendrán siempre tres bornes de entrada a cada fase del bobinado y tres bornes de salida, que se conectarán a la línea. La forma de realizar el devanado en sí no interesa para la conexión de la red.

Puede haber bobinados ondulados trifásicos con más de tres ramas, debiendo ser el número de las mismas múltiplo de 3 (6, 9, 12, etc.), conectándose en paralelo en grupos, de manera que se tengan tres circuitos de igual número de ramas y bobinas conectadas a la caja de bornes, con sus principios y finales.

Para ejecutar un arrollamiento ondulado, se parte del principio de que, en cada instante, los conductores que están simétricamente colocados bajo cada polo deben estar conectados en serie. En los alternadores esto significa que las *ff. ee. mm.* generadas en los mismos estarán en fase y se sumarán aritméticamente. En los motores y en todos los devanados en general, puede decirse que se deben conectar en serie los conductores que están al mismo potencial instantáneo.

Como en el conductor que está debajo de un polo Norte, por ejemplo, la corriente circula en un sentido determinado y en el que está debajo de un polo Sud, circulará en sentido contrario, las conexiones entre dos conductores que queden debajo de polos contiguos debe hacerse de modo que se invierta la circulación. Para el conductor siguiente de la serie, que estará debajo de otro polo Norte, se debe tener nuevamente el sentido de circulación del primer conductor de la serie. Para que ello sea posible, las uniones entre conductores activos serán hechas una en cada extremo del núcleo, alternativamente. Para la representación plana utilizada para dibujar los bobinados, esto significa que una conexión se hace arriba y la siguiente debajo y así sucesivamente.

Cada serie de bobinas de un devanado ondulado tiene tantas en serie como la mitad del número de polos, con lo que se da una vuelta completa al estator; la segunda serie comienza desde aquí, pero para evitar la superposición sobre las ranuras ya ocupadas, se debe acortar el paso de la primera espira de la segunda serie. Esta es una característi-

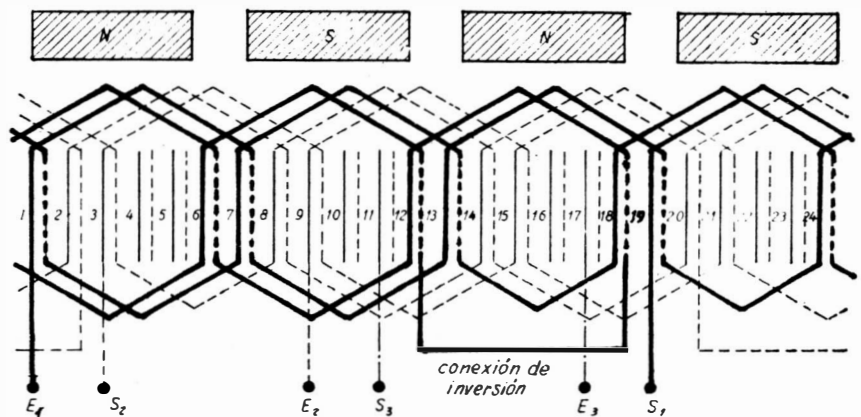


Fig. 76. — Bobinado ondulado de cuatro polos.

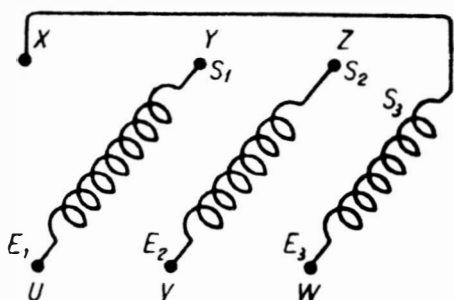


Fig. 77. - Conexiones del bobinado a la caja de bornes.

ca destacada de los devanados ondulados de corriente alternada, que no existía en los de corriente continua. En el ejemplo de ejecución se notará este detalle.

Otra característica de los bobinados ondulados de corriente alternada es que se forman dos series de recorridos inversos, para tomar en una fase todas las ranuras correspondientes, pues como en cada ranura hay dos lados de bobina, y en ambos la corriente tiene el mismo sentido, para tener circulación cerrada se debe volver para atrás, en la forma que se ve en la figura 76.

Con la descripción dada, se pueden trazar bobinados ondulados de cualquier cantidad de ranuras y polos. Los pasos se calculan en la misma forma que para los imbricados. Así, la figura 76 muestra un bobinado ondulado para estator de cuatro polos, en el cual sólo se han dibujado dos fases para simplicidad del dibujo. Se ve la conexión de inversión, el paso normal de 6 ranuras y el acortado, que es de 5 ranuras.

Conexiones a la caja de bornes

Todos los devanados de motores vistos hasta aquí hay que conectarlos a la caja de terminales o bornes del motor. En esa caja hay 6 bornes, dos para cada fase. El objeto de interconectar las fases

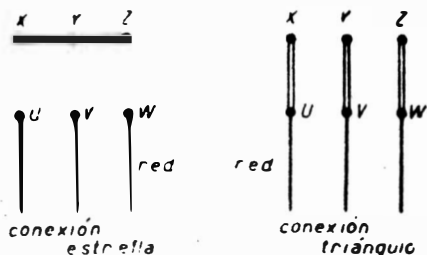


Fig. 78. - Puentes entre los bornes para conexión estrella o triángulo.

en el exterior es para poder hacer los puentes en estrella o en triángulo, y cambiarlos cuando sea necesario. La figura 77 muestra cómo se conectan los tres bobinados, uno de cada fase, a los seis bornes marcados con *U*, *V* y *W* por un lado y *X*, *Y* y *Z* por el otro. Esta denominación es general y está adoptada en casi todos los casos.

La figura 78 muestra cómo se hacen las conexiones mediante puentes para unir el motor a la red. Se ven los dos casos: estrella a la izquierda y triángulo a la derecha. Con pocos puentes está hecha la conexión y es sencillo pasar de un tipo a otro con solo cambiar la posición de los puentes.

Para invertir el sentido de giro, no hay más que cambiar dos hilos de la red de borne, cambiando el *U* con el *V*, por ejemplo, y el rotor dará vuelta en sentido inverso.

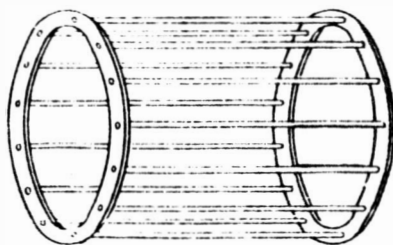


Fig. 79. - Parte eléctrica de un rotor a jaula de ardilla.

Bobinados del rotor

Hasta ahora hemos considerado el estator de los motores de inducción y sus bobinados. El rotor puede ser a jaula o bobinado. En el primer caso está formado por una serie de barras de cobre o de fundición de aluminio, unidas en sus extremos por dos aros (figura 79), que las ponen a todas en cortocircuito. El resto del rotor es el núcleo de hierro, en cuya periferia tiene ranuras o agujeros para alojar esas barras. Las barras tienen más sección cuanto más veloz es el motor.

En cuanto a los rotores bobinados pueden ser hechos con un devanado imbricado u ondulado, en doble capa o de barras. Para motores grandes se emplea mucho el de barras, habiendo en cada ranura una barra única y haciendo los puentes frontales entre ellas en la forma que se estudió para los bobinados de estator. Los extremos de cada fase se unen a los anillos rozantes del eje, a los efectos de conectar el reóstato de arranque.

A veces, el bobinado del rotor de los motores trifásicos se hace con solo dos fases, en la forma como se ilustra en la figura 80. Se economiza así una sección del reóstato, un anillo y una escobilla.

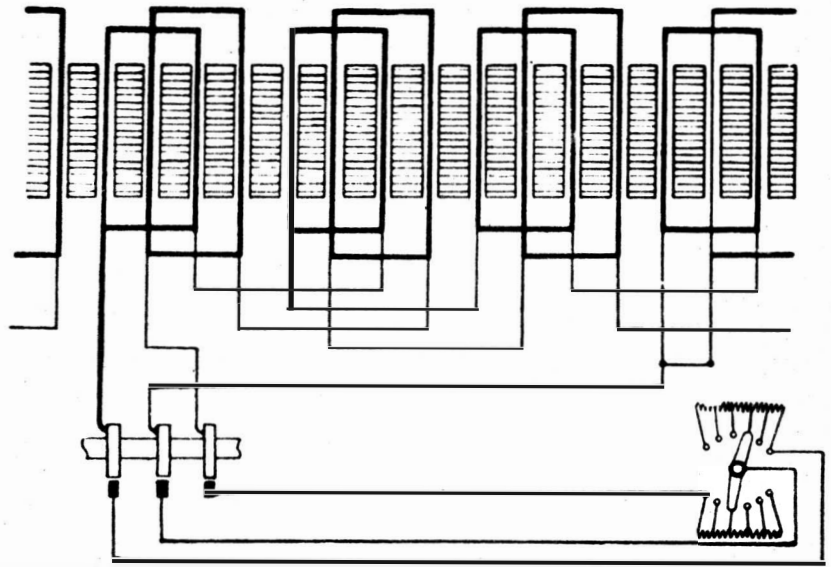


Fig. 80. Bobinado bifásico de cuatro polos para rotor trifásico.

Basta que se ejecute con igual número de polos que el estator, no hay inconvenientes. Se tiene, además, menor cantidad de conexiones frontales. Se utiliza esta solución para motores de potencia reducida.

Motores monofásicos de inducción

Bajo el mismo principio de funcionamiento que los motores trifásicos, se construyen motores de una sola fase para ser conectados a redes monofásicas. El estator tiene un bobinado monofásico y el rotor es del tipo a jaula. Son motores de baja potencia, pues tienen menor rendimiento y mayor volumen que los trifásicos de igual potencia. Tienen la característica que no arrancan solos, sino que hay que dotarlos de un dispositivo auxiliar del tipo magnético o eléctrico.

El sistema de arranque debe pues suministrar un impulso capaz de hacer girar al rotor durante un corto lapso, pues enseguida comienza a actuar la cupla motora y el funcionamiento se hace normal, siendo innecesario el mecanismo auxiliar. Es por esto que casi siempre el sistema de arranque se desconecta una vez que el motor está en marcha siendo la desconexión manual o automática, más frecuentemente de este último tipo.

El efecto de movimiento que se emplea se basa en el llamado *principio de Ferraris* que dice que si sobre un sistema capaz de girar al recibir un impulso, actúan dos campos magnéticos que guardan posiciones geométricas desplazadas entre sí, a la vez que hay entre ambos flujos un desfase angular en el tiempo, se origina una cupla motora que lo pone en movimiento.

Aclaremos lo dicho con la figura 81. El sistema o rotor R está colocado de modo que es atravesado por los dos flujos magnéticos provenientes de las dos bobinas recorridas por las corrientes I_1 e I_2 . Si las dos corrientes no están en fase, cosa que se consigue por diferentes métodos que se verán más adelante, y las bobinas no están sobre un mismo eje, sino que guardan un desplazamiento geométrico como se ve en la figura, sobre el rotor se origina una cupla girante que lo pone en movimiento.

El desplazamiento geométrico óptimo entre las bobinas es de 90° , pero también se obtiene el efecto citado con ángulos menores. Asimismo el efecto es mayor cuando mayor sea la diferencia de fase entre las dos corrientes, de modo que será máximo si ésta es de 90° .

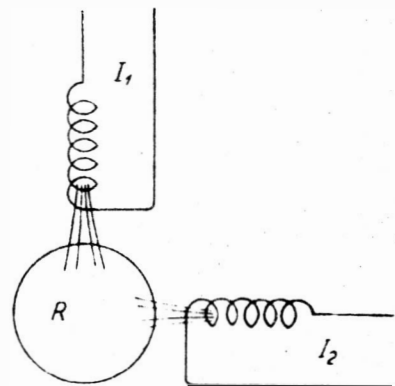


Fig. 81. Principio de Ferraris usado en los motores monofásicos.

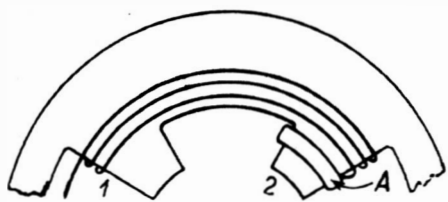


Fig. 82. — Sistema magnético de arranque.

Una de las bobinas de la figura 81 está constituida por el bobinado normal del motor y la otra es el llamado *devanado auxiliar*, realizado ocupando las ranuras que deja vacías el principal. La variedad de sistemas de arranque radica en la forma cómo se consigue el defasaje entre las corrientes que recorren ambos bobinados, pues si ambos se conectan a la red sus corrientes estarían en fase. Se emplean sistemas eléctricos, con resistores, bobinas o capacitores, y sistemas magnéticos.

El *sistema magnético* consiste en modificar la densidad del campo magnético en dos lugares contiguos del estator, con lo que se originan diferencias de flujos en dos puntos que guardan un ángulo geométrico entre sí dando lugar al efecto Ferraris.

La figura 82 ilustra sobre lo dicho, y en ella puede verse que en una parte del núcleo se ha hecho una hendidura para dejar colocar una espira de cobre de baja resistencia (A), envolviendo a una parte del núcleo.

Como el campo es alternado, se inducirá en dicha espira una corriente del mismo carácter, que tenderá a oponerse a la causa que le da origen y debilitará el campo en la zona 2, que resultará entonces menor que en la zona 1.

Se tienen dos zonas en la periferia, separadas por un cierto ángulo geométrico, sobre las cuales

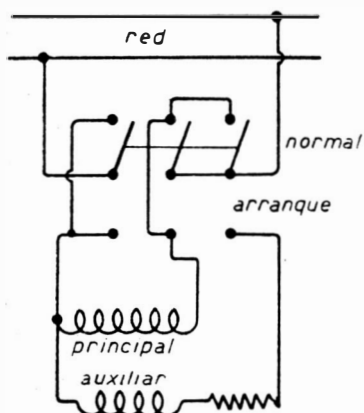


Fig. 83. — Arranque con resistor en la fase auxiliar.

se presenta diferente densidad magnética, por lo que se originará la cupla por efecto Ferraris ya descrito, y el rotor se pondrá en movimiento.

El sistema de arranque que hemos denominado *magnético*, provee un par de arranque muy bajo, por lo que no es apto para vencer una resistencia inicial elevada. Se utiliza en ventiladores, donde la resistencia opuesta al movimiento es casi nula al principio, cuando el motor no tiene gran velocidad; a medida que se va acelerando, el efecto de rotación es obtenido por la acción entre las corrientes del estator y del rotor y deja de tener influencia el momento de giro ocasionado por las masas polares disimétricas.

Estos tipos de motores suelen tener las masas polares salientes como las máquinas de corriente continua, por lo que se les conoce de inmediato por simple observación. La espira de cobre es frecuentemente una chapa estampada, colocada en el trozo de masa polar que se ha estrangulado a tal fin.

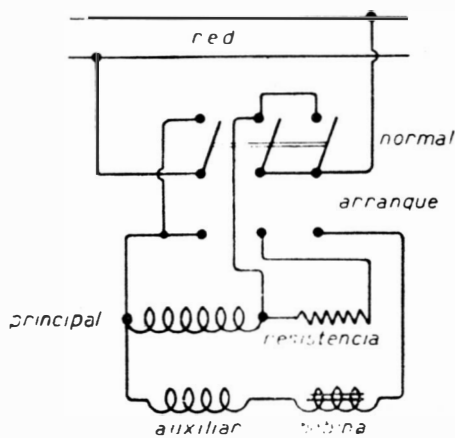


Fig. 84. — Arranque con bobina en la fase auxiliar.

Los *sistemas eléctricos* son muy variados, según la forma de obtener el defasaje entre las corrientes del devanado principal y el auxiliar. En efecto, un defasaje entre dos bobinas se puede conseguir mediante conexión a una de ellas de un resistor, una bobina o un capacitor, y aún se puede diferenciar según la conexión sea hecha en serie o en paralelo. Como se emplean casi todos los métodos que se entrevén de la frase anterior, pasaremos revista a cada uno de ellos.

También difieren los sistemas de arranque según el dispositivo auxiliar permanezca o no conectado una vez que el motor adquiere el funcionamiento normal, pues algunos lo desconectan automáticamente mediante un dispositivo centrífugo y otros

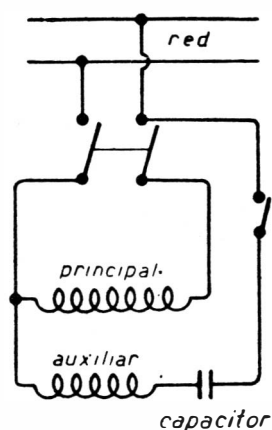


Fig. 85. — Arranque con capacitor en la fase auxiliar.

lo dejan conectado, especialmente en el caso de los capacitores, pues no perjudica la marcha ni el rendimiento, prestando en cambio un servicio auxiliar durante el funcionamiento.

Así, el esquema de la figura 83 muestra la conexión de un resistor en serie con el bobinado auxiliar, de manera de conseguir que la corriente en esa rama no esté en fase con la del bobinado principal. Una llave especial de dos posiciones sirve para arrancar y pasar a la marcha normal en dos golpes. El bobinado auxiliar se hace en este caso con alambre fino, para que tenga mayor resistencia. Se puede llegar a suprimir la resistencia en serie si las dos corrientes tienen un defasaje suficiente.

La figura 84 muestra el procedimiento empleado en motores algo mayores, con una bobina en serie con el bobinado auxiliar y un resistor en serie con el principal o viceversa, según el caso. El obje-

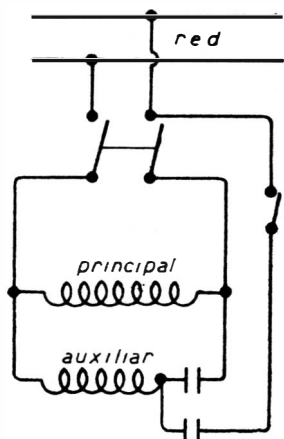


Fig. 86. — Arranque con doble capacitor.

to es también provocar un defasaje entre las corrientes de las dos ramas.

Y, finalmente, tenemos los motores *capacitor* que emplean un capacitor en serie con la fase auxiliar, según muestra la figura 85, y que se desconecta una vez que el motor arrancó. El adelanto introducido en la corriente por el capacitor provoca el defasaje buscado entre los dos bobinados. Otras veces se colocan dos capacitores, según muestra la figura 86 para mejorar el arranque y compensar en parte el excesivo defasaje en atraso de la corriente del bobinado principal. Uno de los capacitores se elimina en el arranque y el otro queda conectado después de esa operación.

Bobinados del estator de motores monofásicos

Se pueden clasificar en dos tipos, igualmente que los trifásicos: en cadena o en doble capa. Los primeros son de bobinas distintas y los segundos de bobinas iguales, con la consiguiente ventaja en la mano de obra. Hay que tener en cuenta, en todos los casos, que debe colocarse un bobinado principal y uno auxiliar. Para tal fin se ocupan $2/3$ de las ranuras con la fase principal y $1/3$ con la auxiliar. En los trazados se verá ese detalle.

Veamos, por ejemplo, un bobinado en cadena para dos polos, según muestra la figura 87. Hay 18 ranuras de modo que 12 ocupará la fase principal y 6 la auxiliar. El trazado se hace en la misma forma que para los trifásicos, calculando el paso polar, pero omitiendo la consideración de las tres fases, pues hay una sola. Los puentes entre las dos secciones del bobinado, que corresponden a los dos polos distintos se hacen de final a final de sección, por las razones ya vistas para trifásicos. Esto vale tanto para el devanado principal como para el auxiliar.

Motores universales o de ambas corrientes

Los motores eléctricos de cierta potencia, en los que se busca el máximo rendimiento y las óptimas condiciones de funcionamiento, se construyen de acuerdo con la clase de corriente disponible para alimentarlos. Así, para redes de corriente continua se encuentran motores de esa clase, con excitación en derivación, en serie o compound, según la aplicación a que está destinado. Para corriente alterna tenemos los motores sincrónicos y asíncrónicos y dentro de estos últimos, los tipos monofásicos y trifásicos.

Hay una serie de pequeños aparatos eléctricos que son accionados por motorcitos, en los cuales el rendimiento es cosa secundaria, contemplándose en cambio el tamaño, peso, flexibilidad y otros

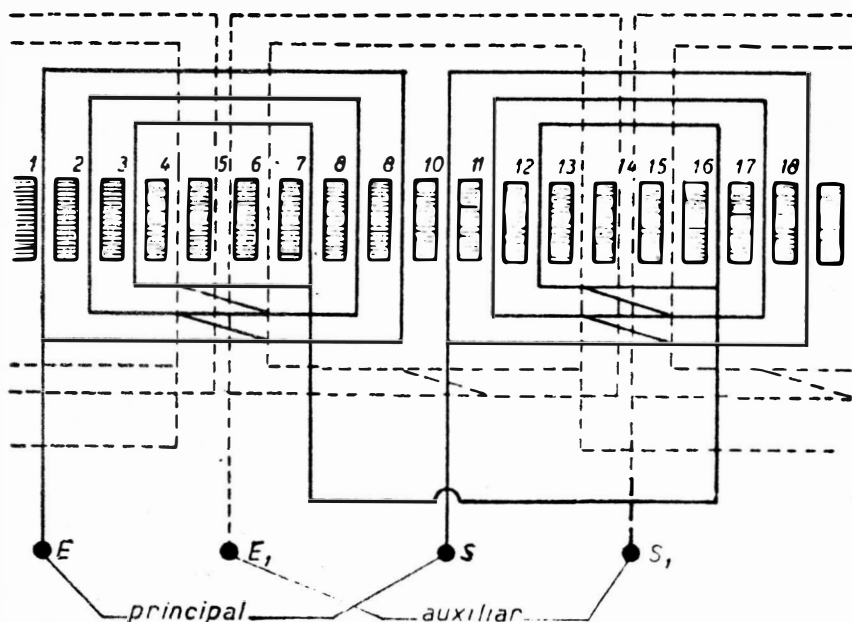


Fig. 87. — Bobinado mono-fásico de dos polos.

factores que indican sobre la comodidad que proporciona el uso. Por esto, se construyen motores que puedan servir tanto para redes de corriente continua como de alternada, entendiendo que de estas últimas sólo consideramos las mono-fásicas.

Tales motores se denominan *universales* y se comportan correctamente en una de las dos clases de corriente y deficientemente en la otra, pero permiten la venta de artefactos que sirven para ambas corrientes, es decir que el usuario no encontrará inconveniente si se le presenta la oportunidad de utilizarlo en cualquiera de ellas o en ambas.

Recordemos algunas características de los motores de corriente continua con excitación en serie. La figura 88 muestra el esquema de conexiones de este tipo de motores, en los que el inducido está en serie con el devanado regular.

Si se invierte el sentido de corriente en el campo y no en el inducido o viceversa, se obtendrá una inversión del sentido de giro del rotor, lo mismo que en los demás motores de corriente continua. Pero si se invierte la polaridad en la red, se producirá un cambio simultáneo de la circulación de corriente en los dos devanados, inducido e inductor, y el motor mantendrá el movimiento de rotación original.

Supongamos que cambiamos la polaridad de la red rápidamente, muchas veces por segundo, y las cosas pasarán como recién se explicó, salvo que aumentará el chisporroteo en las escobillas. Si el motor se conecta a una red de corriente alterna, en la que la polaridad cambia muchas veces por segun-

do, en cantidad correspondiente con la frecuencia, el motor debe mantener el sentido de giro y funcionar. Pero hay que hacer algunas observaciones, pues ese funcionamiento no será normal.

El devanado del inductor, sea de dos o más polos, está formado por un núcleo de hierro, alrededor del cual se arrollan una gran cantidad de espiras. Los distintos núcleos polares llevan sus bobinados casi siempre conectados en serie y el conjunto,

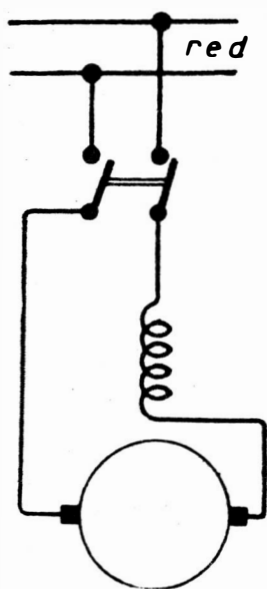


Fig. 88. — Esquema de conexiones de un motor serie.

a su vez, se conecta en serie con el inducido. Este está también compuesto por una cantidad de bobinas, cada una con varias espiras y teniendo núcleo de hierro.

Es lógico pensar que todo el conjunto presentará a la corriente continua una resistencia que será mucho menor que la impedancia que le ofrece a la corriente alternada, pues los electroimanes inductores, por ejemplo, tienen muy baja resistencia óhmica, pero alta reactancia, por lo que la intensidad de corriente, si se lo conecta a la red de continua, será la prevista, pero en alternada será mucho menor y no se obtendrá un funcionamiento de los campos inductores.

El problema se puede solucionar más o menos eficientemente en el inductor, en la forma como veremos enseguida, pero no tan fácil en el rotor, por lo que se opta por diseñar este último de manera que se comporte más o menos bien en las dos corrientes, sacrificando un bobinado ideal para corriente continua en aras de obtener otro que sirva para las dos clases de corriente.

El inductor puede ser hecho de dos maneras distintas, bien con un solo devanado con derivaciones o sino con dos devanados distintos. La primera solución es más económica, y se emplea en los motores más pequeños, y la segunda es más racional, pero aumenta el tamaño de los campos y con ello,

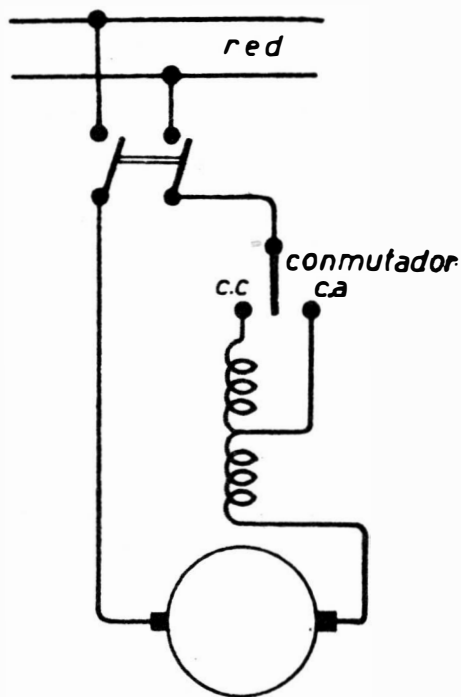


Fig. 89. — Esquema de conexiones de un motor universal.

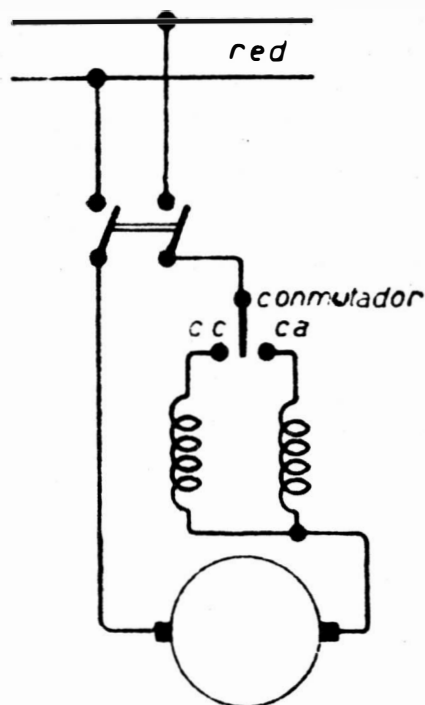


Fig. 90. — Motor universal con doble bobinado.

el del motor.

La figura 89 muestra el esquema de conexiones empleado en el primer sistema, es decir, haciendo los campos inductores con derivaciones. En corriente continua trabaja toda la bobina de campo, y cuando se desea conectar el motor a una red de corriente alterna se corre la palanca de un conmutador a la posición (c.a.) y sólo queda insertado en el circuito una parte del bobinado. Es común que esta parte de la bobina esté hecha con alambre más grueso que la otra sección, para reducir aun más la impedancia sin disminuir el número de Amper-vueltas, que ya resulta menor por tomar sólo una fracción del arrollamiento.

El núcleo del inductor debe ser hecho con chapas y no macizo, porque sino en la conexión para corriente alterna se inducirían en la masa de hierro corrientes parásitas de valor elevado que aumentarían desmesuradamente las pérdidas y el calentamiento del motor. El rotor también se hace con palastro, pero en los motores de corriente continua lo mismo debe hacerse así, porque como se mueve dentro de un campo magnético, se inducen en su masa corrientes vagabundas aunque no se conecte el motor a una fuente de corriente alternada. De modo que la diferencia está en el inductor, que en los motores de continua puede ser macizo, mientras que en los universales es laminado.

Generalmente se construyen las chapas para el rotor y para el estator de una sola placa circular, obteniéndose las dos piezas por estampado, en el que quedan separadas ambas partes. Se unen luego un paquete de chapas para cada núcleo, dando el entrehierro conveniente por tomeado. Generalmente el número de ranuras del estator de estos motores es reducido, y el número de delgas es doble del anterior. También casi siempre son bipolares, salvo algunos casos de motores tetrapolares.

Dijimos que otra manera de obtener el funcionamiento del inductor en las dos clases de corriente era dotarlo de dos bobinados distintos, solución que puede verse en la figura 90. Un conmutador se encarga de pasar de una bobina de campo a la otra. La que corresponde a corriente alternada tiene menor cantidad de espiras y está devanada con alambre de mayor diámetro que la de continua, para presentar menor impedancia.

Esta solución no es la más generalizada, porque se consiguen los mismos resultados si se aprovecha el bobinado de alternada y se agregan las espiras necesarias en serie para trabajar en corriente continua, como se ve en la figura 89.

Hay todavía un tipo de motores universales que son aún más flexibles que los anteriores. Se trata

de los que, además de funcionar en ambas corrientes pueden trabajar con distintas tensiones de la red. Para ello se sacan varias derivaciones en el devanado o sección del devanado inductor que corresponde a cada una de las dos clases de corriente y se llevan a un selector, como se ve en la figura 91.

Por un extremo el bobinado de campo queda conectado al inducido mediante una escobilla, y por el otro queda unida a un borne de la red a través del selector, de manera que se intercala en serie con el rotor una bobina de campo de resistencia ajustable a la tensión disponible en la red.

Hay que observar que en el inducido no se cambian las conexiones, de modo que la tensión máxima de trabajo no puede ser desmesuradamente distinta de la mínima, porque habría que anular todo el inductor para obtener la misma circulación de corriente.

Los motores universales no rinden en corriente alternada la misma potencia que en corriente continua, pues en el mejor de los casos se obtiene un 70% de esta última. Además, en corriente alternada tienen peor conmutación, es decir mayor chisporroteo en las escobillas.

Si se desea obtener regulación de la velocidad de giro se pueden insertar resistores en el circuito inductor, que debilitando el campo magnético se aumenta la velocidad y reduciendo la tensión aplicada al motor disminuye el número de giros por minuto. El procedimiento es en todo similar al que se aplica a los motores de corriente continua.

Es raro que los motores universales tengan porta-escobillas ajustables, de modo que la posición de las escobillas viene ajustada de fábrica y no se podrá desplazarlas para disminuir el chisporroteo bajo las mismas. Por esto conviene que trabajen siempre con la misma carga para la cual han sido diseñados.

Motores monofásicos de repulsión

El motor a repulsión es, en esencia, un motor formado por un rotor bobinado como los de corriente continua, pero con las dos escobillas puestas en cortocircuito por un puente conductor, y un estator bobinado como en los motores de corriente alternada, concentrado o distribuido, según la potencia e importancia.

Tiene la valiosa propiedad de poseer una elevada cupla de arranque, que lo hace apto para arrancar con carga, es decir acoplado directamente al mecanismo que debe accionar, cosa que no se encuentra en muchos tipos de motores monofásicos, como los asíncronos, por ejemplo. En este sentido se puede comparar al motor serie de co-

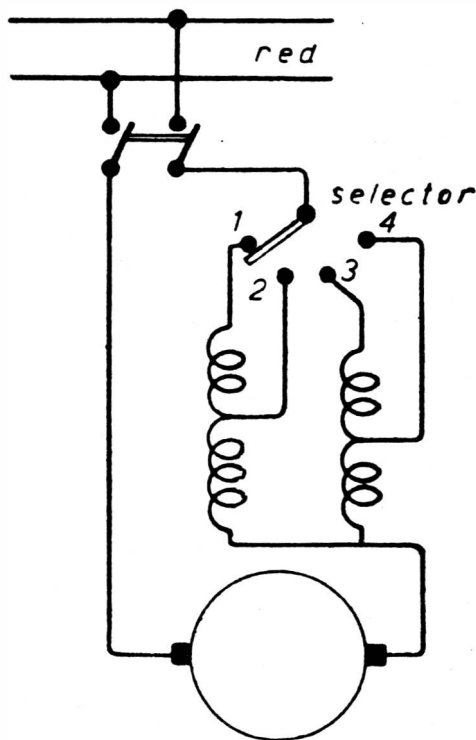


Fig. 91. — Esquema del selector de tensiones.

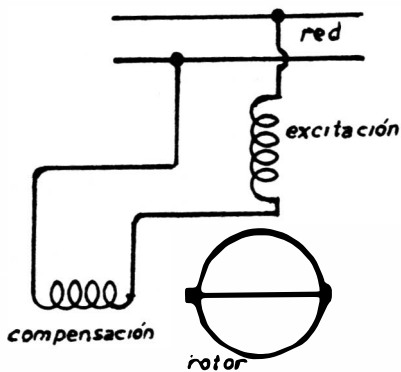


Fig. 92. — Principio del motor con escobillas en corto.

riente continua, ideal para ser utilizado en vehículos, grúas, etc., por su fuerte momento de arranque, necesario para vencer la inercia de reposo de los mecanismos a accionar. Las características de trabajo de los motores a repulsión son comparables a las de los motores serie, con la diferencia de que el rotor no tiene ninguna conexión con el exterior, pues las escobillas quedan unidas simplemente por un puente conductor.

Tiene además la facilidad de poder regular la velocidad con solo girar el porta-escobillas de su posición inicial hasta el final, en total un cuarto de vuelta completa, dando velocidades muy distintas, pero afectando también a la cupla de giro, que es máxima para una posición determinada de las escobillas, denominada *normal* y para la que el rotor gira con la velocidad normal.

Supongamos tener un rotor bobinado como el de un motor de corriente continua, pero con las escobillas unidas en cortocircuito, colocado dentro de un estator con dos bobinados apartados 90° entre sí, como se ve en la figura 92. Uno de los bobinados se llama *excitación* y el otro *compensación*.

El bobinado de excitación está encargado de producir un campo magnético que atraviese al rotor, de modo que en realidad tendremos dos partes del mismo colocadas la mitad arriba y la mitad abajo, como en los motores bipolares de corriente continua.

El bobinado del rotor que abarca este campo magnético está colocado en posición horizontal, pero a circuito abierto, pues se vio en los trazados de bobinados para corriente continua que las escobillas ocupan la posición de los ejes de las bobinas conectadas a las delgas que apoyan en ellas. En una bobina abierta no puede circular corriente, de modo que si el motor tuviera solamente este devanado no podría funcionar.

El bobinado de compensación está colocado perpendicularmente al de excitación, de modo que el campo magnético producido por él será abarcado por las bobinas verticales del rotor, las que están puestas en cortocircuito, circulando por ellas una corriente elevada. Si sólo existiera este devanado, entre esa corriente y el campo magnético de él no se ejercería acción dinámica alguna, por estar los lados de bobina fuera del campo y el motor tampoco funcionaría, pese a la fuerte corriente que recorre al rotor.

Como tenemos dos bobinados, entre el campo magnético del de excitación y la corriente inducida en el rotor por el de compensación se origina una fuerza de repulsión que tiende a hacer girar al rotor, comenzando a funcionar.

Al girar el rotor, se van cambiando las bobinas de él que están en posición horizontal y vertical, pero como ni los devanados del estator ni las escobillas con su puente de corto-circuito cambian de posición, la marcha continúa por el mismo efecto descrito.

En la práctica, los motores a repulsión no se construyen en la forma señalada, sino que se les coloca un solo devanado en el estator, como se muestra en la figura 93 pero las escobillas no están en la posición de la figura anterior, sino que guardan con ella cierto ángulo (α), referido al eje horizontal (las posiciones horizontal y vertical mencionadas corresponden al dibujo y no al motor mismo).

El único devanado del estator tiene dos efectos distintos: produce un campo magnético que es abarcado por las espiras abiertas, es decir, por las bobinas que están unidas a delgas, no cortocircuitadas por las escobillas, y en esto se comporta co-

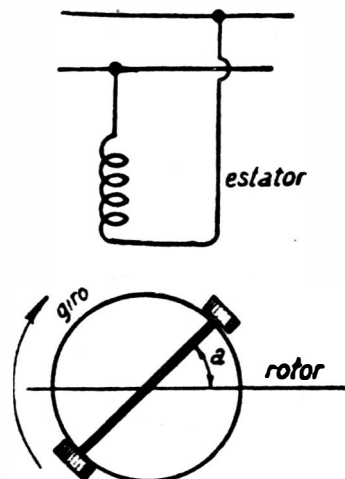


Fig. 93. — Motor de repulsión.

mo el bobinado de excitación explicado anteriormente. Por otra parte, su campo magnético es abarcado también por las bobinas que están puestas en cortocircuito por las escobillas, de modo que se inducirá en ellas una corriente que las recorrerá, y entre cuya corriente y el campo magnético se ejercerá una acción de repulsión que hará girar al rotor en la forma ya explicada anteriormente. El sentido de giro está indicado en la figura.

Supongamos que el portaescobillas puede ser girado desde la posición horizontal hasta la vertical. En la posición horizontal, en la que el ángulo (α) vale cero, el motor se comporta como el de la figura 92 si sólo tuviera el bobinado de excitación; en el rotor no se induce corriente alguna y no funciona, pues no tiene cupla de giro. Esta posición de las escobillas es la de **arranque** en los motores dotados de regulación.

Si las escobillas están en posición vertical, es decir la que corresponde a un valor de 90° para el ángulo (α) se trata del motor de la figura 92 con bobinado de compensación solamente, y vimos que se inducía en las bobinas del rotor una fuerte corriente, pero que no había tampoco cupla de giro, por lo que el motor no arranca. Esta posición se denomina **de cortocircuito**, y la corriente que toma de la red es muy grande, porque la corriente que recorre el rotor debe ser transferida a él por el estator.

La posición de las escobillas que produce el máximo momento de giro es para un ángulo (α) de 75 a 80° desde la posición inicial. A distintas

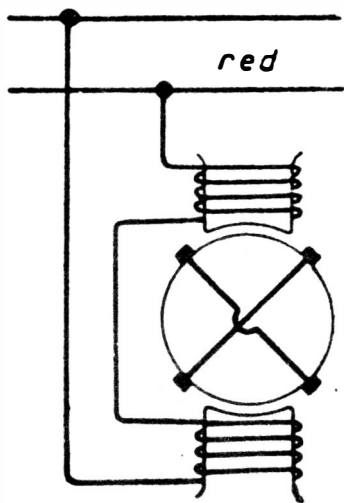


Fig. 94. - Motor a repulsión con doble juego de escobillas.

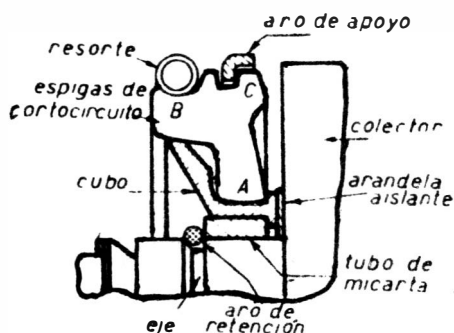


Fig. 95. - Dispositivo centrífugo para el motor a repulsión-inducción.

posiciones de las escobillas corresponden distintas cuplas de giro y velocidades de rotación, de modo que el procedimiento de regulación es muy cómodo. Los motores de cierta potencia están contruidos con porta-escobillas girables, para obtener arranque suave y funcionamiento regulable.

Los motores de repulsión de potencia reducida se hacen con escobillas fijas, en la posición que produce el máximo momento de giro, y en ellos no es necesario regulación alguna, salvo que se le intercale en serie resistores con lo que se varía la velocidad hasta un 35% del valor nominal.

Un inconveniente de estos motores es que su velocidad es muy variable al modificarse la carga, por lo que se suele remediar ello colocando doble juego de escobillas, como se ve en la figura 94. En estas condiciones, se amortigua la variación y se obtiene mayor constancia del número de revoluciones por minuto.

La elevada cupla de arranque de los motores de repulsión, que llega hasta 4 a 4 1/2 veces la cupla normal de marcha, los hace especialmente aptos para todos los casos en que deban vencer una fuerte inercia inicial como en compresores, bombas, etc.

Motores a repulsión-inducción

Uno de los inconvenientes de los motores a repulsión es el excesivo chisporroteo en las escobillas, que deteriora las delgas del colector y obliga a frecuentes reparaciones. Tiene en su favor la valiosa propiedad de suministrar una fuerte cupla de arranque que se presta a utilizarlo en compresores, por ejemplo, por lo que los fabricantes de estos adminículos utilizan un motor de diseño especial que arranca como motor de repulsión y, al llegar a la marcha normal, se comporta como un motor de inducción o asincrónico ordinario.

El motor está construido como uno de repul-

sión común, pero el estator es siempre con devanado correspondiente a un motor asincrónico. El rotor es bobinado con colector, como los de corriente continua, pero con las escobillas en cortocircuito.

El eje tiene acoplado el dispositivo centrífugo que se ve en la figura 95 que consta de las espigas *B* que están soportadas por resortes, manteniéndolas alejadas del frente del colector y apoyadas en el aro de soporte. El conjunto está aislado del eje con una arandela de micarta y un tubo del mismo material. Cuando el rotor se ha puesto en marcha funcionando como motor a repulsión, el resorte empieza a ser vencido por la fuerza centrífuga que obra sobre las espigas en su parte *B*, con lo que las partes *C* se apoyarán en el frente del colector cortocircuitando las delgas y poniendo así a todo el devanado del rotor en cortocircuito. El motor comienza a funcionar como asincrónico, con rotor devanado en cortocircuito.

Este motor goza, durante el arranque, del fuerte momento inicial de giro de los motores a repulsión, pero carece, durante la marcha, del inconveniente del chisporroteo de escobillas, pues si bien las mismas queda apoyadas en el colector, no

ejercen ninguna acción, ya que éste está totalmente cortocircuitado por las espigas. En marcha tiene las propiedades favorables de los motores a inducción, de marcha silenciosa y constancia de velocidad, aún frente a variaciones de la carga.

En cuanto a los devanados nada hay que agregar a lo dicho referente a otros tipos de motores a repulsión pues son iguales, teniendo en el estator un bobinado común de motor de alternada y en el rotor un devanado de corriente continua.

Se encuentran estos motores en las heladeras eléctricas con un compresor accionado por un motor eléctrico. También se utilizan en otros casos donde se requiera fuerte par de arranque y se quiera evitar los inconvenientes de los motores a repulsión durante la marcha. Este detalle debe ser tenido muy en cuenta en los casos de colocar el motor en lugares con emanaciones inflamables, donde no se concibe un colector con chispas bajo las escobillas, debiendo recurrirse a los motores asincrónicos, pero como no siempre éstos son aptos para el trabajo a que están destinados, sobre todo los monofásicos por su débil cupla de arranque, se suele emplear motores de repulsión-inducción.

Día 8

Bien, hemos estudiado el funcionamiento y los aspectos constructivos de los diversos motores que funcionan con corriente alternada y hasta sabemos cuáles son las aplicaciones de cada uno, es decir que viendo un motor debemos saber a qué tipo pertenece. También se ha hablado de los bobinados y de la manera de ejecutarlos pero debemos aclarar que este asunto presenta tantas variantes que se han escrito muchos libros enteros sobre tal tema. Claro está que un electricista no necesita ser un bobinador, pues se trata de otra especialidad; lo que debe tener es una noción clara sobre los tipos de motores y saber si están en buenas o malas condiciones, y este asunto será estudiado más adelante. Las conexiones de los motores también es un tema de interés, porque esa si es tarea para electricistas y entonces debemos recordar los circuitos presentados para cuando estudiemos las instalaciones que llevan motores, a las que suele llamarse de fuerza motriz, y que serán estudiadas en el capítulo 13. Ahora debemos seguir con nuestro tema y le toca el turno a los transformadores, asunto que tiene también suma importancia ya que se usan en infinidad de equipos eléctricos, como las radios, los televisores, los amplificadores de sonido, los grabadores, etc. Una simple campanilla para llamar en una casa necesita un transformador y esto nos habla de la importancia del tema. Procedamos entonces a abordarlo.

TRANSFORMADORES

Hemos visto en el capítulo 3 los fenómenos de inducción mutua, que ocurrían cuando en una bobina se hacía variar la corriente, induciéndose una tensión en otra bobina arrollada sobre la primera. Si se alimenta la primer bobina o primario con corriente alternada no hay necesidad de variarla, pues lo hace automáticamente, cambiando no sólo de valor sino también de sentido. En la bobina secundaria se inducirá constantemente una tensión. Tal dispositivo se llama *transformador*.

La figura 96 representa esquemáticamente un transformador, cuyo primario se conecta a una red alternada de tensión E_1 y está formado por una bobina de N_1 espiras. El secundario tiene N_2 espiras y se recoge en él una tensión E_2 entre sus bornes para ser utilizada en un circuito cualquiera. La tensión secundaria puede ser menor o mayor que la primera, teniéndose los transformadores reductores y elevadores respectivamente. Sus usos son tan numerosos que no se podrían citar todos.

La primera característica de los transformadores es que las tensiones están en la misma proporción que las cantidades de espiras, es decir:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Expresión esta muy importante para el cálculo de los transformadores. Cuando está conectado, en el primario y en el secundario circulan corrientes en ambos bobinados, y entre ambas intensidades se cumple una relación aproximada:

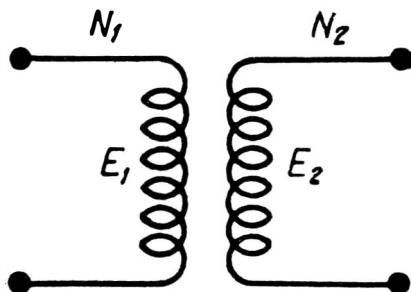


Fig. 96. — Esquema del transformador.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Donde las corrientes son las del primario (1) y la del secundario (2). Esta relación no es exacta, porque el primario toma un poco más de corriente para producir el campo magnético en el núcleo de hierro que tiene el transformador. Pero en la práctica puede usarse pues el error con el transformador bajo carga no es importante.

Hay transformadores con varios secundarios, cada uno de los cuales suministra una tensión distinta, para alimentar circuitos diferentes. Cada circuito toma su energía del mismo transformador. Este detalle debe tenerse en cuenta en el cálculo.

Los transformadores de gran potencia se hacen con enfriamiento de aceite, colocándolos dentro de un recipiente que se llena con ese líquido. Además las paredes exteriores se hacen con aletas para aumentar la superficie de enfriamiento. Otras veces se llega a hacer circular el aceite para enfriarlo afuera.

Cálculo de transformadores

El cálculo de transformadores requiere conocer las características magnéticas del núcleo que se va a emplear para adoptar la inducción más conveniente, compatible con la cifra de saturación y de pérdidas. Sin embargo puede simplificarse la tarea si se suponen conocidos algunos detalles tomados de la práctica constructiva. Atendiendo a las calidades corrientes del hierro laminado para transformadores se llega a cifras empíricas que permiten diseñarlos rápidamente, sin profundizar cálculos teóricos que darían resultados poco diferentes.

Claro está que en tales condiciones hay que establecer límites de potencia pues no es lo mismo, ni se debe seguir el mismo criterio, cuando se trata de un transformador de 100 Watt que cuando se trata de uno de 100 Kilowatt. En la Técnica se presenta frecuentemente la necesidad de construir transformadores cuyas potencias están comprendidas entre unos pocos Watt y 1000 Watt, o sea 1 KW. Para tales casos se pueden generalizar el sistema de cálculo, utilizando los datos que damos a continuación.

Apreciación de la potencia del primario

La primer cantidad a tener en cuenta para diseñar un transformador es la potencia del primario, pues ella es la que dará dimensiones al núcleo, a la sección de los bobinados, etc. Rara vez se tiene tal potencia como dato del problema, pero es seguro

que se conoce la tensión a aplicar al primario, las tensiones de utilización del secundario, sea uno o varios bobinados, y las corrientes máximas que drenará cada uno de estos. Con tales valores es fácil conocer la potencia primaria.

Supongamos que haya un solo secundario, que debe suministrar una tensión E_2 a un consumo de corriente máxima I_2 , tomando la tensión en Volt y la corriente en Amper, El producto:

$$E_2 I_2$$

de la potencia aparente del secundario. Si hubiera varios secundarios, cada uno de ellos tiene su tensión de trabajo y su corriente máxima de carga. Se hacen los productos de ambos valores $E \times I$ para cada bobinado y se suman todas las potencias aparentes de los bobinados secundarios:

$$W_2 = E_2 I_2 + E_2' I_2' + E_2'' I_2'' + \dots$$

con lo que se tiene una cifra que llamaremos W_2 , potencia aparente total del secundario, que se puede conocer de inmediato. La potencia aparente del primario es un poco mayor que la del secundario, pues se producen pérdidas en el núcleo de hierro y en los devanados. Para transformadores pequeños y medianos, conviene tomar un 20% de pérdidas totales, y tendremos que la potencia aparente del primario vale:

$$W_1 = 1,2 W_2$$

Y si hemos tomado correctamente las cifras la potencia aparente primaria debe resultar mayor que la secundaria.

Determinación de la sección transversal del núcleo

En cuanto conocemos la potencia de primario

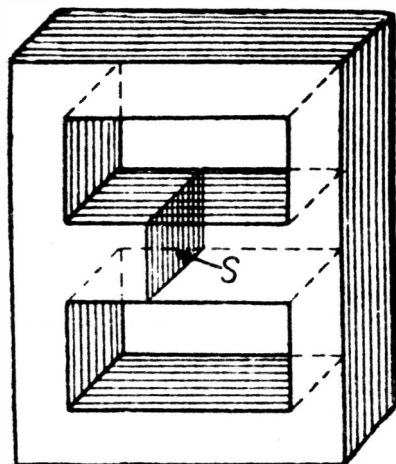


Fig. 97. -- Núcleo de un transformador.

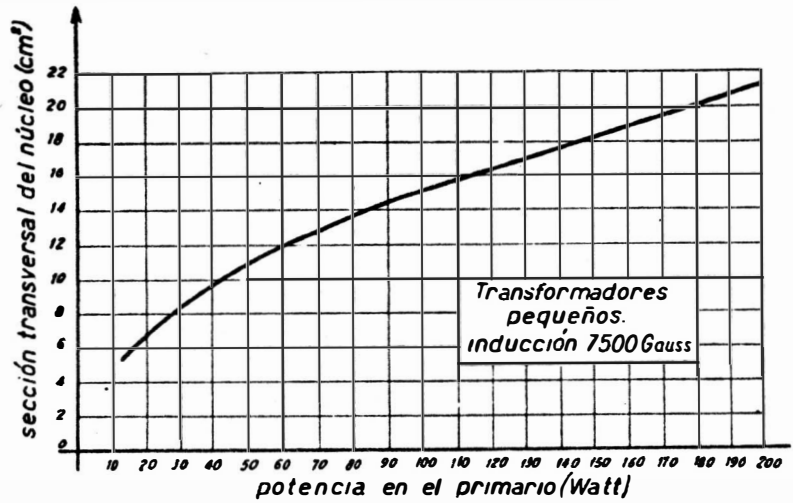


Fig. 98. — Gráfico para calcular la sección del núcleo de transformadores pequeños.

puede calcularse la sección transversal del núcleo, en su parte central, donde se arrollan los devanados, sección que hemos indicado con S en la figura 97. Esta sección debe tomarse en cm^2 , para lo cual se multiplica su largo por su ancho, tomando las dos medidas en cm. Para abreviar cálculos, se ha confeccionado la curva de la figura 98 donde se da la sección S del núcleo para distintas potencias del primario, válidas para transformadores pequeños de hasta 200 Watt. Para potencias mayores, la curva de la figura 99 permite obtener la sección S del núcleo. Con esta segunda curva se calculan secciones para transformadores de hasta 1 Kw de potencia. En los dos casos se entra por el eje de abscisas (horizontal), con el dato de la potencia, y se lee sobre el de ordenadas (vertical) la sección necesaria para el punto de la curva que haya resultado. Así por ejemplo, para un transformador de 65 Watt en el primario, hace falta una sección de núcleo de 12 cm^2 , y para otro de 850 Watt hacen falta unos 35 cm^2 de sección de núcleo.

Determinación del número de espiras del primario

En cuanto se conoce la sección transversal del núcleo, se puede calcular el número de espiras del devanado primario, para lo cual se aplica la fórmula:

$$N_1 = \frac{100.000.000 E_1}{4,44 f B S}$$

En la que E_1 es la tensión a aplicar al primario en Volt; f es la frecuencia de la corriente alternada de alimentación, en c/s; B es la inducción magnética adoptada para el núcleo en Gauss y S la sección transversal, ya conocida, en cm^2 .

Si se tiene en cuenta que la tensión primaria es generalmente 220 Volt y la frecuencia 50 ciclos/seg., se pueden simplificar los cálculos, pues sólo quedan como cantidades variables la sección S y la inducción B . Este último dato debe tomarse en conocimiento del tipo de hierro y de la sección. Para transformadores pequeños comunes, puede

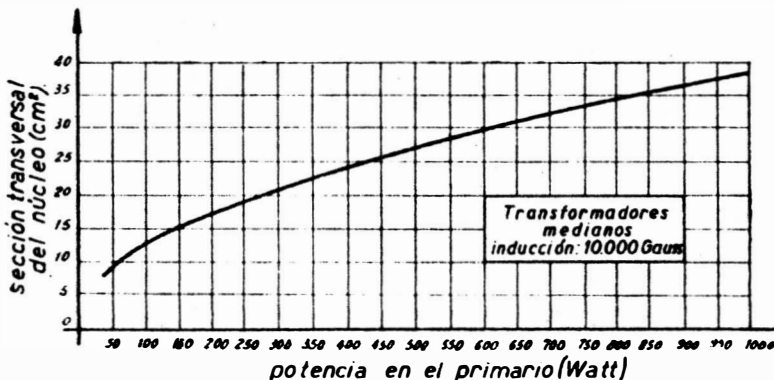


Fig. 99. — Gráfico para calcular la sección del núcleo de transformadores medianos.

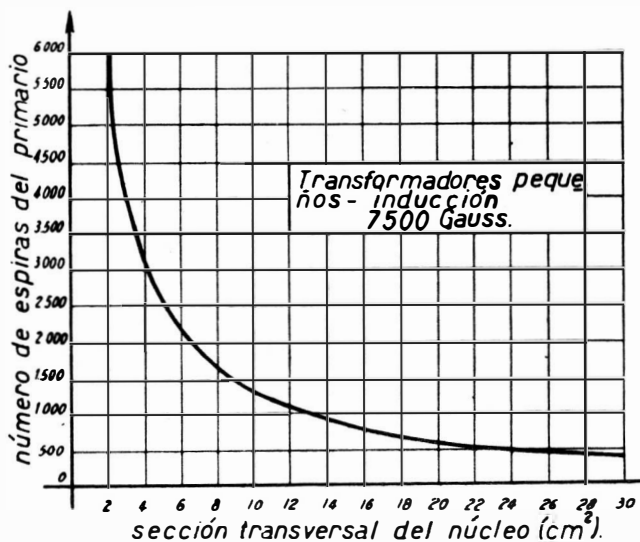


Fig. 100. — Gráfico que da el número de espiras del primario en transformadores pequeños.

ser de 7.500 Gauss y para medianos 10.000 Gauss. En base a tales cifras se han confeccionado curvas que dan el número de espiras en función de la sección S .

La figura 100 da los números de espiras para transformadores pequeños y la figura 101 para transformadores medianos. En ambas curvas se entra por el eje horizontal conociendo la sección del núcleo, ya sea por el cálculo que hemos hecho anteriormente, o porque disponemos de un núcleo

al que se lo quiere bobinar. Llegando a la curva se lee en el eje vertical el número de espiras necesario. Así por ejemplo, para un transformador pequeño con 26 cm² de sección de núcleo, hacen falta 500 espiras en el primario. Para uno mediano, con 100 cm² en el núcleo, hacen falta 100 espiras.

Número de espiras del secundario

Teniendo en cuenta que los números de espiras

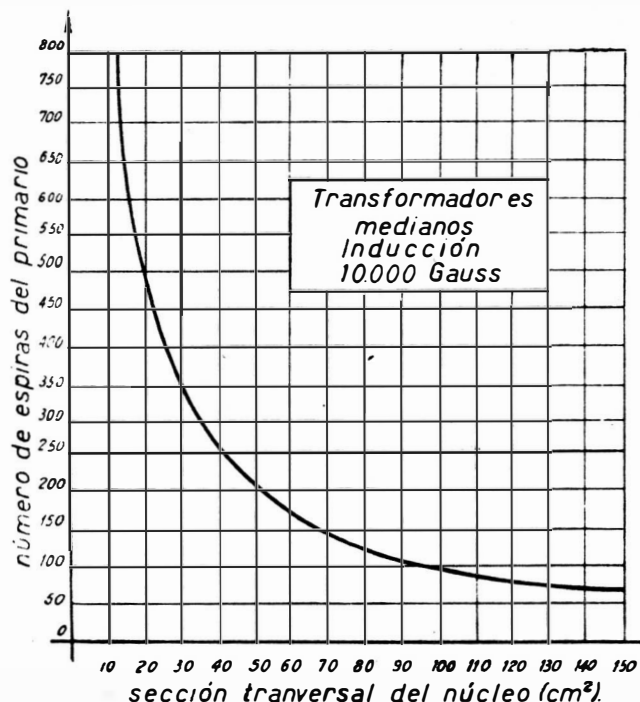


Fig. 101. — Gráfico que da el número de espiras del primario en transformadores medianos.

son proporcionales a las respectivas tensiones, se puede escribir:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

de cuya relación se deduce fácilmente la fórmula:

$$N_2 = \frac{E_2 N_1}{E_1}$$

Donde N_2 es el número de espiras del secundario que se está calculando, el cual debe suministrar una tensión E_2 (Volt). N_1 y E_1 son el número de espiras y la tensión del primario, respectivamente. El mismo cálculo se aplica a todos los devanados secundarios que hubiera.

Sección de los alambres

Una vez que se ha calculado el número de espiras de todos los devanados, se puede calcular el diámetro o la sección del alambre que los forman. Para ello se debe tener como dato la corriente que circulará por cada devanado, en su valor máximo de carga. Para los secundarios son conocidas las corrientes de todos los devanados, y para el primario se la calcula dividiendo la potencia aparente, que tenemos calculada desde el principio, por la tensión primaria:

$$I_1 = \frac{W_1}{E_1}$$

De manera que tenemos todas las intensidades. Con estos datos se entra a la tabla adjunta, que da

Diámetros y secciones necesarias para los devanados

Corriente máx. Amper	Diámetro mm	Secc. mm ²	Corriente máxima Amper	Diámetro mm	Secc. mm ²
0,015	0,10	0,0078	0,650	0,65	0,332
0,020	0,11	0,0095	0,750	0,70	0,385
0,025	0,12	0,0113	0,850	0,75	0,442
0,035	0,15	0,0176	1,000	0,80	0,503
0,050	0,18	0,0254	1,130	0,85	0,567
0,065	0,20	0,0314	1,270	0,90	0,636
0,075	0,22	0,038	1,600	1,00	0,785
0,100	0,25	0,050	2,250	1,20	1,13
0,130	0,28	0,062	3,500	1,50	1,77
0,140	0,30	0,070	5,000	1,80	2,54
0,190	0,35	0,096	6,500	2,00	3,14
0,250	0,40	0,126	10,000	2,50	4,91
0,320	0,45	0,160	14,000	3,00	7,07
0,400	0,50	0,196	25,000	4,00	12,57
0,450	0,55	0,238	40,000	5,00	19,64
0,550	0,60	0,283			

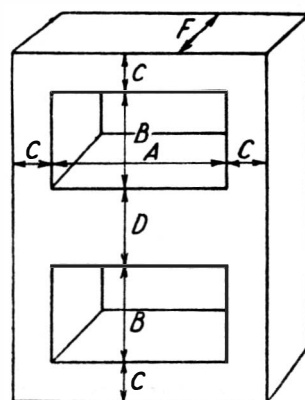


Fig. 102. - Dimensiones del núcleo.

el diámetro o la sección del alambre de cobre que se empleará, generalmente esmaltado.

Dimensionado del resto del transformador

La única dimensión que conocemos por ahora del transformador es la sección transversal del núcleo S , en cm^2 . Además sabemos los números de espiras y los diámetros de los alambres de todos los bobinados. Con todos estos detalles puede dimensionarse el transformador, en primera aproximación, pues habrá que corregir las medidas en la práctica constructiva.

La figura 102 indica las dimensiones principales, tomadas todas en cm . El producto $F \times D$ debe dar la sección del núcleo S , cifra conocida, de modo que se puede adoptar enseguida valores para F , que es el espesor de todo el núcleo, y D , ancho de la parte central. Conviene que F y D no sean muy distintas entre sí, o que, a lo sumo, se tenga como máximo:

$$F = 1,5 D$$

E inmediatamente se adopta:

$$C = 0,5 D \text{ o algo más}$$

La ventana del núcleo debe dar cabida a todos los devanados, además de las tiras de cartón que va entre cada uno de ellos, y entre el núcleo y el primer devanado y el último. Es común adoptar:

$$A = 1,5 B$$

De manera que, calculando B se podía enseguida determinar A . El valor de B , teniendo en cuenta el espesor de la aislación del alambre, se calcula aproximadamente de la siguiente manera:

Cada devanado necesita una altura, dentro de la ventana, que será una parte de la medida B , dada por:

$$b = d \sqrt{N}$$

es decir, multiplicando el diámetro del alambre que forma ese bobinado, considerado desnudo, y tomado en cm, por la raíz cuadrada del número de espiras de ese mismo bobinado. Con esta fórmula empírica se tiene en cuenta aislación, vacíos, etc. Cada bobinado necesitará una fracción b de la altura total B , que se calculará con la fórmula última, tomando el diámetro y el número de espiras de cada devanado. Luego se suman todas las medidas B que se hayan obtenido para el primario y todos los secundarios y se agrega 0,1 cm por cada bobinado que hay para el espesor del cartón separador y 0,2 cm para los cartones extremos. Finalmente, se redondea la suma total, para considerar una pequeña reserva de espacio, y se tiene la medida B , con la que se calcula en seguida A .

Hay que tener presente que se debe verificar el tamaño de la ventana, pues un bobinado con reducido número de espiras necesitará el espacio de una capa, aunque no la llena, y con la fórmula vista se obtendrá una altura menor. Lo mismo, las capas incompletas ocupan tanta altura como las completas, cosa que debe tenerse en cuenta. En definitiva, el cálculo sirve para tener una aproximación de lo que será la dimensión definitiva, la que debe adoptarse luego de las comprobaciones.

Pérdidas en los núcleos de hierro

Los generadores, motores y transformadores tienen núcleos de hierro que la mayoría de las veces es laminado, formando un paquete de chapas delgadas. Se dijo que se hacían así para reducir las pérdidas por corrientes parásitas. Además, estudiamos también el fenómeno de histéresis, que produce pérdidas por calor en el hierro. Veamos ambos tipos de pérdidas en detalle.

Pérdidas por histéresis

En Magnetismo general se estudia el fenómeno de histéresis y se determina que las pérdidas producidas por él representan una cierta potencia que absorbe el núcleo metálico de todo bobinado sometido a corrientes variables. Es decir que el trabajo eléctrico gastado en la imantación del núcleo no se invierte totalmente en efecto útil, sino que parte de él se consume en describir el ciclo o lazo de histéresis.

La potencia que absorbe el núcleo es transferida a él por vía electromagnética, es decir que la potencia eléctrica que cubrirá estas pérdidas se transforma en energía magnética, y en esta forma se consume. Su magnitud depende en grado sumo del tipo de material del núcleo, de sus dimensiones, de

la inducción magnética a que se lo somete y del número de ciclos que se describen en la unidad de tiempo.

Steinmetz estudió diversos materiales magnéticos, casi todos ellos compuestos por hierro puro o con agregados como silicio, manganeso, etc. El estudio se extendió al acero y la fundición. Posteriormente se ensayaron láminas de acero especialmente preparadas para núcleos de máquinas y transformadores. De todos estos ensayos surgió una fórmula empírica para calcular las pérdidas por histéresis, que es:

$$W = \eta B^{1.6} f 10^{-8}$$

Donde W es la potencia perdida en un Kg de núcleo, dada en Watt. Para calcular la pérdida en todo el núcleo, hay que multiplicar el resultado de la fórmula por el peso total en Kg. O, si se conoce el volumen dado en dm^3 , se multiplica éste por el peso específico, que puede tomarse igual a $7,8 \text{ Kg/dm}^3$, y se tiene el peso del núcleo. En la expresión anterior, B es la inducción máxima que atraviesa el núcleo, en Gauss, de modo que si es alternada, se tomará su amplitud, f es la frecuencia en ciclos/seg. El coeficiente η es el llamado *coeficiente de Steinmetz* y depende del tipo de hierro del núcleo. La tabla adjunta da los valores para los hierros más usuales. Como aparece en la fórmula un coeficiente 1,6 para las operaciones debemos aplicar logaritmos (ver libro Aprenda Matemáticas en 15 días).

Valores del coeficiente de Steinmetz

Material	η
Hierro dulce	2,5
Fundición	17,0
Acero fundido	15,0
Acero dulce para máquinas	10,0
Acero dulce recocido	5,8
Acero dulce	2,7
Acero dulce, 2% de silicio	1,5
Acero dulce, 3% de silicio	1,25
Acero dulce, 4% de silicio	1,0
Laminación dulce	3,1
Laminación delgada	3,8
Laminación ordinaria	4,2

Se observa en la tabla la influencia que tendrá el tipo de material elegido en la cifra de pérdidas, pero como en los núcleos no sólo aparecen las pérdidas por histéresis, no se puede elegir el material por este solo detalle, sino que hay que contemplar el efecto de las corrientes parásitas, que como veremos requieren condiciones distintas.

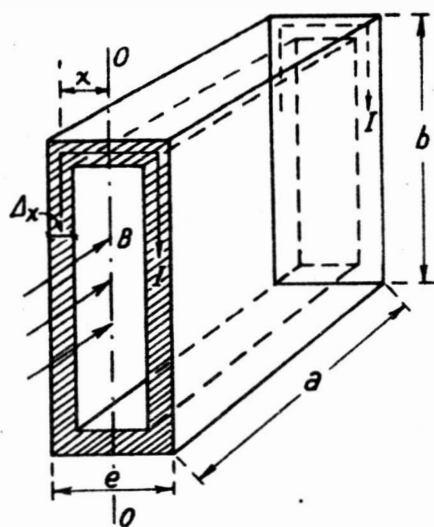


Fig. 103. — Corrientes parásitas inducidas en las chapas del núcleo de hierro.

Pérdidas por corrientes parásitas

Para estudiar este tipo de pérdidas, veamos cómo se producen. La figura 103 muestra un trozo de chapa de acero de las que forman el núcleo del transformador. Se supone que el espesor de la chapa, indicado con e en la figura, está exagerado notablemente, ya que en la realidad es una fracción de mm. El campo magnético atraviesa la chapa en el sentido indicado en la figura, es decir, recorre la longitud a , con lo que atraviesa una sección neta dada por el producto del espesor e por el alto b . Todas las dimensiones se tomarán en cm, para uniformar.

Debido a la variación de este campo, cuya inducción es B , se inducirá una corriente que circula envolviendo al campo, en la forma que se indica con I en la figura. Se supone a la chapa formada por capas sucesivas que envuelven al campo magnético. La capa rayada en el croquis tiene espesor Δx , y dista x del eje $O-O$.

El valor de la f.e.m. inducida por la inducción B al variar con frecuencia f ciclos al segundo, y atravesar la sección ya expresada, será:

$$E = 4,44 f B S 10^{-8}$$

en cuya expresión la sección S debe ser considerada como la que queda dentro de la capa envolvente, es decir, vale:

$$S = 2 x b$$

La resistencia eléctrica de la capa mencionada, rayada en la figura, tiene un valor, dado por el pro-

ducto de la resistividad del hierro por la longitud recorrida por la corriente y dividida por la sección atravesada. Luego, dividiendo el cuadrado de la tensión E por la resistencia para cada capa, y calculando todas las capas se llega por vía matemática a la expresión de las pérdidas por Kg de núcleo, que es:

$$W = 2,2 f^2 B^2 e^2 10^{-11} \text{ (W/Kg)}$$

Donde f es la frecuencia en c/s; B es la inducción máxima en Gauss y e es el espesor de la chapa en mm.

La expresión última nos permite hacer algunas observaciones interesantes. Vemos que las pérdidas dependen del cuadrado del espesor de la chapa, por cuyo motivo hay especial interés que éste sea lo menor posible. Además, también aparecen al cuadrado la inducción y la frecuencia, por cuya razón estas pérdidas fijan valores límites para la inducción magnética, no permitiendo usar valores elevados. También se deduce que un transformador calculado para una frecuencia dada se comportará mal a frecuencias mayores. Además, como la resistencia del hierro aparecería en el denominador, convendrá elegir hierros malos conductores eléctricos, pero deben ser buenos conductores magnéticos; con esto, la elección puede presentar interesantes alternativas. Pero el factor más importantes es el espesor, y en la práctica se llega a emplear chapas de fracciones de milímetros, limitado sólo por razones constructivas.

Pérdidas totales en el núcleo

Las expresiones vistas anteriormente, permiten calcular las pérdidas en el hierro debidas a las dos causas: histéresis y corrientes parásitas. En la práctica interesa casi siempre tener la cifra total, para cálculo de transformadores y separarlas únicamente cuando se estudia el material del núcleo.

Las pérdidas totales en los núcleos de hierro pueden calcularse con las fórmulas anteriores, pero resulta más práctico disponer de curvas obtenidas en laboratorios especializados, que suministren las cifras unitarias de pérdidas. Supongamos, por ejemplo, que se deseen calcular las pérdidas totales en un núcleo con estas características:

Material: acero al 2 % de silicio — espesor 0,35 mm — $B = 10.000$ Gauss — frecuencia: 50 c/s — Se desea la cifra total de pérdidas en Watt/Kg.

Cálculo de las pérdidas por histéresis:

$$W = \eta B^{1,6} f 10^{-8}$$

De la tabla de coeficientes de Steinmetz obtene-

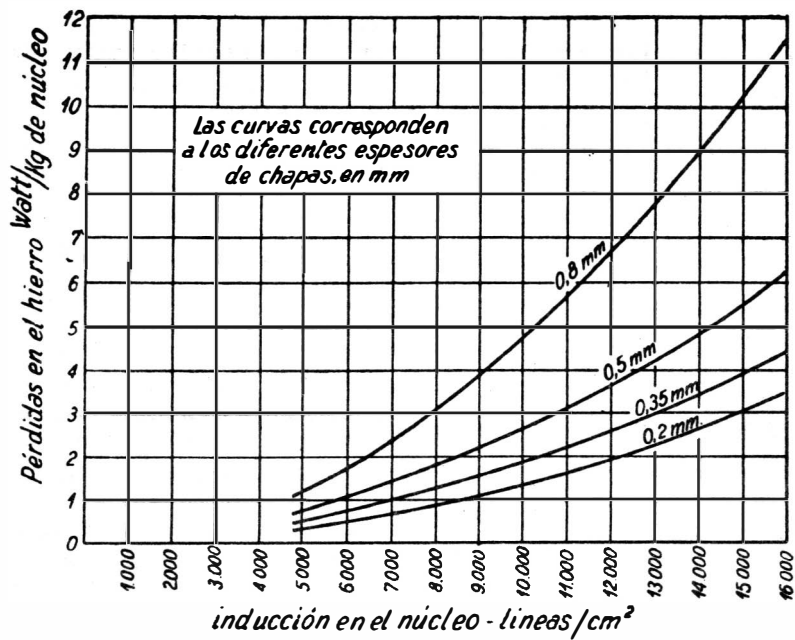


Fig. 104. – Pérdidas totales en el núcleo de hierro del transformador: histéresis y corrientes parásitas para chapas de hierro con 4 % de silicio, a frecuencia 50 ciclos/seg. Las cifras se dan en Watt/Kg.

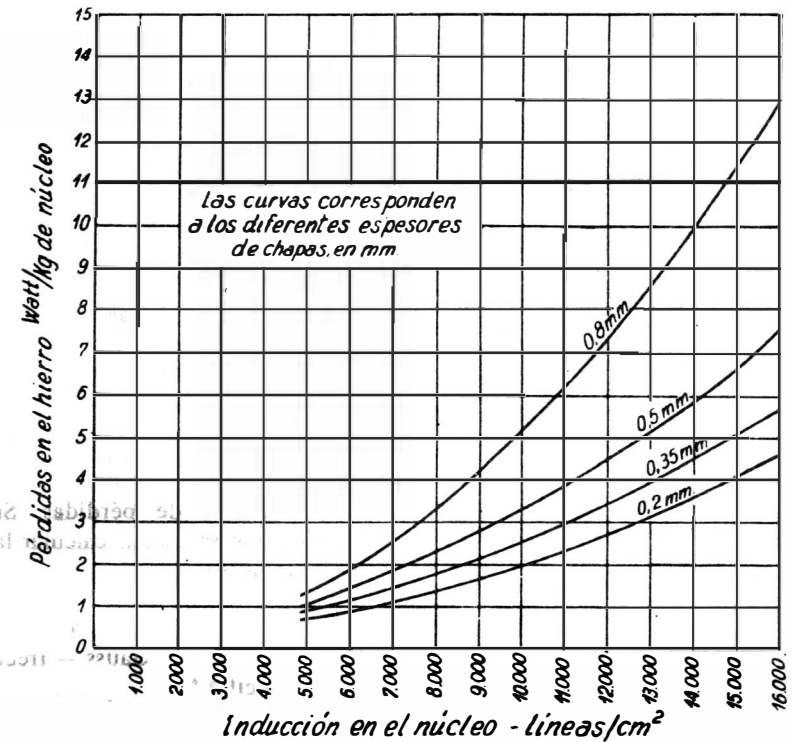


Fig. 105. – Pérdidas totales en el núcleo de hierro del transformador: histéresis y corrientes parásitas para chapas de hierro al 2 % de silicio, a frecuencia 50 ciclos/seg. Las cifras se dan en Watt/Kg.

mos para el acero al 2% de silicio un valor igual a 1,5.

La potencia 1,6 de la inducción se obtiene, por logaritmos, multiplicando el logaritmo de B por 1,6 y buscando el número que corresponde al nuevo logaritmo. Así se llega a: $B^{1,6} = 2,5 \times 10^6$

$$W = 1,5 \times 2,5 \times 10^6 \times 50 \times 10^{-8} = 1,87 \text{ W/Kg}$$

Cálculo de las pérdidas por corrientes parásitas:

$$W = 2,2 f^2 B^2 e^2 10^{-11}$$

$$W = 2,2 \times (50 \times 10.000 \times 0,35)^2 \times 10^{-11} = 0,67 \text{ W/Kg}$$

Pérdidas totales en el hierro:

$$W = 1,87 + 0,67 = 2,54 \text{ W/Kg}$$

Y se ve que en cada caso bastará aplicar ambas expresiones, conociendo todos los datos necesarios, para poder calcular la cifra total de pérdidas. En la práctica se prefiere recurrir a curvas que dan las pérdidas en función de la inducción y que

están trazadas para cada espesor de chapa y para cada frecuencia, pues estos dos últimos datos son cifras que no se pueden elegir arbitrariamente, ya que la frecuencia depende de la red de distribución y el espesor de la chapa de la existencia en plaza.

La figura 104 y 105 muestran las curvas para dos tipos clásicos de chapas para transformadores. La figura 104 corresponde a chapas de hierro al silicio con 4% de este mineral, y para espesores de chapas comprendidos entre 0,2 y 0,8 mm. Se nota que para este último espesor las pérdidas crecen mucho, lo que hace a tales chapas inaptas para usos técnicos. La figura 105 da las mismas curvas, pero para chapas de hierro con 2% de silicio. Todas ellas corresponden a una frecuencia de 50 c/s. En abscisas se entra con la cifra de inducción que se tendrá en el núcleo, y en ordenadas se obtiene la cifra total de pérdidas en el hierro, en Watt/Kg de núcleo, según la curva correspondiente al espesor de chapas que debamos utilizar. Para inducciones inferiores a 5000 líneas por cm^2 las pérdidas se hacen sensiblemente iguales para todos los espesores de chapas.

Día 9

Después de haber dedicado cuatro largas jornadas al estudio de la corriente alterada y los dispositivos que se conectan a ella, parecerá trivial que nos ocupemos de las modestas pilas eléctricas, como las que tenemos dentro de una linterna o una radio a transistores. Pero el caso es que el tema interesa por sus principios, ya que se trata de la transformación de energía química en eléctrica, o sea de una forma de almacenar electricidad. La importancia de las pilas es que posibilitan la construcción de aparatos eléctricos portátiles, es decir que se puedan llevar a cualquier parte sin la esclavitud de tener un cable que debe ser inexorablemente conectado a un tomacorriente. Todos los enseres eléctricos que usamos en un automóvil, como luces, radios, afeitadoras, pasacintas magnéticas, etc. son accionados por un acumulador eléctrico que si bien es diferente a las pilas de que hablaremos ahora, es también un dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica, con la ventaja sobre aquellas de que es recargable. En esta oportunidad nos ocuparemos de las pilas eléctricas y en la próxima jornada abordaremos los mentados acumuladores. Entremos entonces en nuestro tema de la presente jornada.

ELECTROQUÍMICA. PILAS

La observación de fenómenos químicos producidos por la electricidad o viceversa, es anterior a casi todas las aplicaciones de aquella en la industria. No es extraño que se hayan ocupado de experimentar con las acciones químicas de las corrientes eléctricas numerosos investigadores, cuyas conclusiones se aplican todavía hoy con ligeras variantes.

Para describir el funcionamiento de los dispositivos electroquímicos que llamaremos pilas y acumuladores, es menester un estudio previo de Química, aunque basta que se conozcan las leyes generales. Daremos las definiciones estrictamente indispensables, ya que el tema escapa a nuestro objeto.

Algunas nociones de Química

Se distingue la Química de la Física, en que la primera estudia los fenómenos que afectan a la composición y estructura íntima de la materia, mientras que la segunda se ocupa de todos los que no la afectan. Así combinar dos gases, como el oxígeno y el hidrógeno para formar agua, es un

fenómeno químico; mientras que reducir el agua a vapor o convertirla en hielo, son fenómenos físicos; en el primer caso partimos de dos cuerpos simples y formamos un tercero distinto, mientras que en el segundo caso tenemos un mismo cuerpo en tres estados diferentes.

Para la Química no interesa clasificar los cuerpos en sólidos, líquidos y gaseosos, sino en *metales* y *metaloides*. Se tienen así dos grandes grupos en los que se encuentran todos los cuerpos simples, y la distinción entre ellos se hace por su distinto comportamiento ante las reacciones o combinaciones que tuvieran lugar. Así la combinación de un metal con el oxígeno forman un óxido, mientras que un metaloide con el oxígeno forma un anhídrido; combinando un óxido con un anhídrido se obtiene una *sal*, y combinando un anhídrido con el hidrógeno se obtiene un *ácido*. Estas consideraciones son de carácter general, pues hay ácidos que no tienen oxígeno y sales que tampoco lo tienen; ejemplo típico del primer caso es el ácido clorhídrico, y del segundo son todos los sulfuros, cloruros, etc. Pero nuestro objeto no es entrar en tales consideraciones, sino estudiar los fenómenos electroquímicos elementales.

Cuando estudiamos las características conductoras de la corriente eléctrica de los cuerpos, atribuimos el carácter de buenos conductores a los metales y de aisladores a los metaloides. Veremos ahora que ello se cumple generalmente, y que tiene influencia en el transporte de partículas a través de los líquidos conductores. Pero eso se verá más adelante.

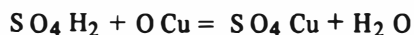
La unión de un metal con el oxígeno forma un óxido que toma el nombre de ese metal, así como el óxido de hierro, de cobre, de plomo, etc. Se suele diferenciar en el nombre de la substancia la cantidad de partes de oxígeno que ha tomado para formarse; así el óxido ferroso tiene menos oxígeno que el férrico, o también el protóxido de hierro tiene menos oxígeno que el peróxido de hierro. Los ácidos toman el nombre del metaloide que los ha formado, como el ácido sulfúrico (de azufre) el nítrico (de nitrógeno), etc. Si cambiamos el hidrógeno de un ácido por un metal, se obtiene una sal que toma el nombre de dicho metal; así el ácido sulfúrico está formado por azufre, oxígeno e hidrógeno, pero si quitamos el hidrógeno y colocamos cobre se tiene el sulfato de cobre. En el caso de las sales también se distingue la proporción de metal en la designación, pues hay sulfato y sulfito de cobre, etc.

Todos los cuerpos simples tienen un símbolo que los caracteriza y que consiste en la inicial de su nombre; a veces se ha tomado el nombre en latín, como el azufre, que se llama "sulphurus" y se ha tomado la S; otras veces, cuando hay dos o más cuerpos que comienzan con la misma letra, se toman las dos primeras letras, como C (carbono) Co (cobalto) y Cu (cobre, de "cuprum"). Un compuesto químico tendrá entonces una serie de letras, que indican los distintos cuerpos que lo forman, con números que indican las cantidades proporcionales de dichos cuerpos que se han combinado. Así, el óxido de hierro, el ácido sulfúrico, etc., se escriben del siguiente modo:

Oxido de hierro.	Fe ₂ O ₃
Acido sulfúrico.	S O ₄ H ₂
Sulfato de cobre	S O ₄ Cu
Agua o protóxido de hidrógeno . .	H ₂ O
Oxido de cobre	O Cu

Cualquier combinación química debe tener igual número total de cuerpos simples antes y después de la reacción que se haya producido; es decir que se pueden formar varios cuerpos compuestos partiendo de otros cuerpos, pero no se gana ni se pierde ninguna molécula de ninguno de ellos. Si combinamos ácido sulfúrico con óxido de cobre

se formará sulfato de cobre y agua, en la siguiente forma:



y se nota que la cantidad total de moléculas de cada elemento o cuerpo simple no se ha alterado, pues siempre nos quedan cinco partes de oxígeno, dos de hidrógeno, una de cobre y una de azufre. Han variado los cuerpos, pues con un líquido ácido y un metal oxidado hemos formado un sulfato y agua, pero no se ha perdido ni ganado ningún cuerpo o compuesto.

Como veremos, esto es muy importante para el estudio de las reacciones químicas que se producen en los elementos eléctricos, aunque para saber las proporciones normales necesarias para formar un compuesto habría que ahondar el estudio de la Química. Sin embargo, nos será posible considerar las reacciones que tienen lugar, pues son simples.

Par voltaico. Pila de Volta

En sus numerosas investigaciones Volta encontró que al poner dos metales diferentes en contacto, aparecía una diferencia de potencial eléctrico entre ellos; esa diferencia de potencial no dependía de la superficie ni espesor de las placas en contacto, pero sí de la naturaleza de los metales.

Posteriormente se encontró que el fenómeno dependía en grado sumo del hecho que las placas estuvieran humedecidas o no, y que si colocaba entre las placas un líquido ácido, el fenómeno adquiría proporciones notables. Así, si se arriman placas de mercurio y zinc, la diferencia de potencial al vacío es de 0,17 Volt, pero si se exponen al aire, con humedad normal, la cifra se eleva a 0,68 Volt. La diferencia de potencial de contacto se llamó *fuerza electromotriz*, y se comprobó que si se colocaban capas superpuestas de dos metales, alternando los de las dos clases distintas, se sumaban las fuerzas electromotrices (abreviado: f. e. m.); de aquí surgió el nombre de pila, que todavía hoy conserva el elemento o par voltaico.

Experimentando con cuerpos diferentes, se comprobó que se podía formar una serie de ellos en la cual el que está colocado más arriba adquiere potencial positivo con respecto al que le sigue, y negativo con respecto al que le precede, al mismo tiempo que cuerpos más alejados en la lista dan f.f.e.e.mm. de contacto más elevadas. Tal lista da solamente el nombre de diez cuerpos, pero en cada orden se podría colocar otros de iguales cualidades. Veamos entonces la lista mencionada:

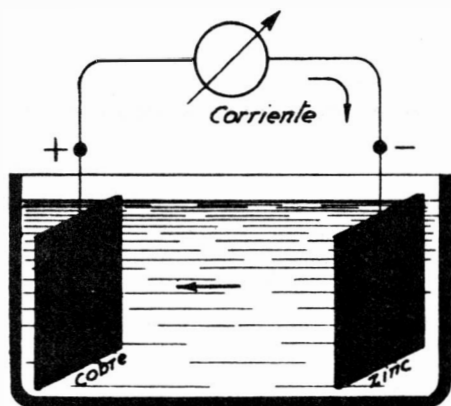


Fig. 106. — Cuba para la producción de fenómenos electrolíticos.

- | | |
|-------------|---------------|
| 1 — Carbón | 6 — Estaño |
| 2 — Platino | 7 — Plomo |
| 3 — Plata | 8 — Zinc |
| 4 — Cobre | 9 — Aluminio |
| 5 — Hierro | 10 — Magnesio |

Tomando dos placas de cobre y zinc, por ejemplo, se verifica la aparición de una f.e.m. de 1 Volt aproximadamente, lo que se comprueba fácilmente. Este par formó la *pila* de Volta, que construyó el genial físico hace unos 170 años. La pila de Volta estaba formada por las dos placas citadas sumergidas en agua con ácido sulfúrico, según se ve en la figura 106. Un galvanómetro o aparato acusador del pasaje de corriente eléctrica indicaba una corriente decreciente con el tiempo hasta su extinción, lo que se atribuyó a la disminución de la f.e.m. en forma progresiva. Comprobaciones y estudios posteriores permitieron llegar a la conclusión de que la disminución de la f. e. m. y por ende de la corriente de descarga de la pila, se debía a un fenómeno ocasionado por la circulación de la corriente misma, al cual se denominó *polarización*. Para describirlo es necesario investigar los efectos que produce la corriente eléctrica al pasar por la solución de agua y ácido sulfúrico.

Polarización de la pila

El pasaje de corriente eléctrica por una solución ácida o *electrolito* produce una reacción química que separa al líquido en dos partes diferentes; los metales siguen el sentido de la corriente y van al electrodo o placa positiva y los demás componentes van al electrodo o placa negativa. En el caso de la pila de Volta, el agua que tiene el electrolito se descompone en hidrógeno y oxígeno;

el hidrógeno, que es un gas que se comporta igual que los metales, al extremo que algunos clasificadores lo consideran como metal, se dirige al electrodo positivo, depositándose sobre la placa de cobre en forma de burbujas. El oxígeno se dirige al electrodo negativo formando burbujas sobre la placa de zinc.

El resultado de la descomposición del agua por el pasaje de la corriente es entonces la presencia de hidrógeno sobre la placa de cobre y de oxígeno sobre la de zinc. En este último electrodo se produce un ataque del ácido sulfúrico, que está disuelto en el electrolito, sobre el zinc, produciéndose sulfato de zinc que queda adherido sobre dicho electrodo en forma de una capa pulverulenta blanquecina. Pero es interesante estudiar lo que sucede en el electrodo positivo, o sea en la placa de cobre, al recubrirse de una capa de hidrógeno.

Hemos dicho que el hidrógeno se comporta como un metal, y como tal debe tener un lugar en la serie de metales que producen f.f.e.e.m.m. de contacto; lo tiene, en efecto y está colocado más abajo que el zinc, es decir que el hidrógeno con el zinc forma una segunda pila, según se ve en la figura 107. Lo interesante es que ahora el zinc forma el polo positivo de esta pila, y el hidrógeno el negativo. En la figura 107 hemos indicado el sentido de circulación de la corriente de la pila, que va en el interior del zinc al cobre y en el exterior del cobre al zinc, al formar el circuito cerrado. En la segunda pila, formada por el zinc con el hidrógeno, es evidente que el sentido de la corriente eléctrica será la que va del negativo al positivo en el interior de la pila; es decir del hidrógeno al zinc, según lo indica la figura 107.

El fenómeno descrito se denomina *polarización* de la pila y se ve que la corriente secundaria se resta de la principal, ocasionando la reducción que ya observó Volta. Al transcurrir el tiempo, el hidrógeno depositado aumenta y con ello la polarización se va acentuando, llegando a inutilizar

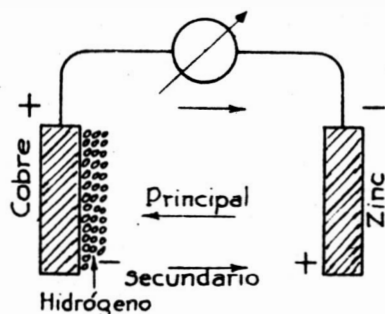


Fig. 107. — Formación de la polarización del electrodo positivo en una pila.

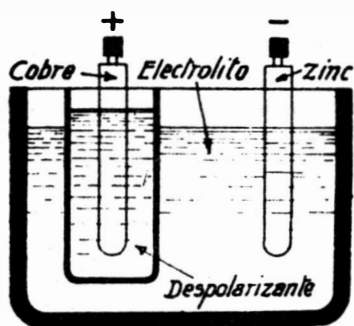


Fig. 108. - Corte esquemático de una pila mostrando la ubicación del despolarizante.

la pila. Más adelante veremos que el electrolito ofrece una resistencia al paso de la corriente, llamada resistencia interior de la pila; la polarización aumenta esa resistencia interna, puesto que tenemos dos nuevos elementos en el camino de la corriente: la capa gaseosa de hidrógeno en la placa de cobre y el oxígeno y la capa de sulfato de zinc sobre la placa de zinc. El aumento de la resistencia interior de la pila hace que se reduzca en mayor grado la intensidad de corriente circulante, con lo cual el fenómeno se ve acentuado notablemente.

Despolarizante

Para evitar, o por lo menos reducir, el fenómeno de la polarización se ideó impedir que el hidrógeno llegue a la placa positiva; para tal fin se colocó el electrodo positivo dentro de un vaso poroso, en el cual se coloca una sustancia química capaz de absorber o neutralizar al hidrógeno. El vaso debe ser poroso para permitir la circulación de la corriente, además de la función de impedir la reacción química entre el electrolito y la sustancia neutralizadora o *despolarizante*.

En la figura 108 se muestra la disposición que ha tomado la pila así modificada, con los dos electrodos o placas, el vaso poroso dentro del cual está el despolarizante y allí sumergido el electrodo positivo. Todo el conjunto está colocado dentro del electrolito.

El despolarizante debe ser una sustancia capaz de combinarse químicamente con el hidrógeno y generalmente se usan sustancias ricas en oxígeno, a efectos de que el exceso de éste forme agua con el hidrógeno. No siempre se busca la formación de agua, pues en los tipos comunes de pilas veremos que se pueden usar otros tipos de reacciones químicas, basta que neutralicen el hidrógeno, que es el objeto de la despolarización.

Pilas secas

Actualmente se ha generalizado el uso de una pila (ver figura 109) que se denomina seca porque se prepara el electrolito en forma pastosa, a fin de hacerla transportable y que pueda trabajar en cualquier posición. El vaso poroso se reemplaza por una bolsa de tela que contiene el despolarizante de coke y bióxido de manganeso. El recipiente exterior se suprime, pues el mismo cilindro de zinc lo reemplaza, y se protege al conjunto con una capa externa de cartón. En la parte superior se cubre el contenido con una capa dura de lacre o alquitrán, que sirve al mismo tiempo para inmovilizar la barra central de carbón o polo positivo. En esa capa hay que dejar un tubo u orificio para salida de los gases que se forman durante las reacciones. Es costumbre asignarles una f.e.m. de 1,5 Volt.

Constantes de una pila

En los circuitos de utilización de pilas eléctricas hay que tener siempre presente las constantes propias de cada elemento utilizado, a fin de establecer las condiciones en que se prestará el servicio. Así, para cada pila hay un valor de la f.e.m., que es la diferencia de potencial que existe entre sus bornes o electrodos a circuito abierto en el exterior. En las pilas secas modernas, la f.e.m. es del orden de 1,5 Volt.

Otra constante de importancia en las pilas es la resistencia interna, o sea la resistencia que opone al paso de la corriente todo el conjunto de sustancias que se encuentran entre los dos electrodos en el interior de la pila; el fenómeno de polarización aumenta la resistencia interna en for-

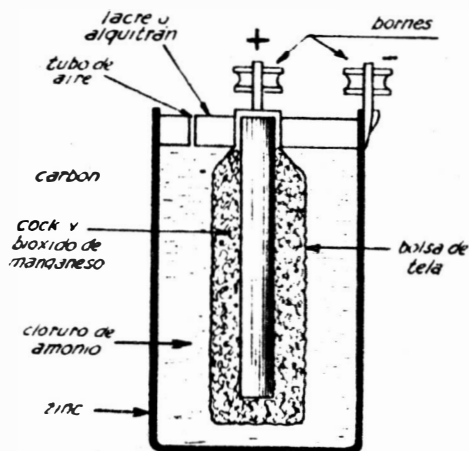


Fig. 109. - Corte esquemático de una pila del tipo seco.

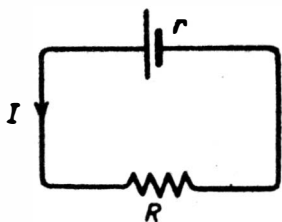


Fig. 110. — Símbolo de una pila y su circuito exterior.

ma creciente, y el uso también. De esto resulta que la resistencia interior puede darse para pilas nuevas como una cifra constante, pero con el uso resultará alterada.

Capacidad y duración. Una pila puede suministrar al circuito de consumo una cierta cantidad de electricidad, mientras dura su funcionamiento. Esa cantidad depende de la superficie de los electrodos, aumentando con ella. Como sabemos, la cantidad de electricidad es igual al producto de la intensidad de corriente por el tiempo, de modo que se puede escribir:

$$Q = I t$$

donde Q es la cantidad de electricidad en Coulomb, I la intensidad de corriente en Amper y t el tiempo en segundos. Esta cantidad de electricidad, cuando se refiere a las pilas, se llama *capacidad de la pila*. Dado que el segundo es una unidad de tiempo muy pequeña, resulta engorroso utilizarla en la práctica y se ha adoptado la hora, con lo que la capacidad resulta expresada en Amper-hora. En esta forma la capacidad de una pila se da por el producto de la intensidad de corriente en Amper por el tiempo que dura en horas.

Y hemos mencionado el tiempo de *duración* de la pila, diciendo que es el número de horas que es capaz de funcionar hasta su agote. Pero ese tiempo depende de la intensidad de corriente con que se descarga la pila, pues en la última fórmula se puede deducir el valor del tiempo:

$$t = \frac{Q}{I}$$

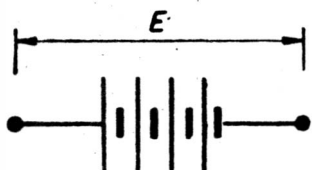


Fig. 111. — Forma de representar la conexión de pilas en serie.

Esta expresión nos dice que si una pila de capacidad Q la empleamos en un circuito que absorbe una corriente de I Amper, nos durará t horas. En la práctica, la duración se ve algo reducida porque la resistencia interna aumenta con el uso y ello puede ser causa de que se decida el recambio de la pila aunque todavía no esté totalmente gastada. Las pilas secas comunes del tipo grande que ya no se fabrican solían tener una capacidad de 30 Amper-hora. Los modelos más pequeños tienen capacidades menores, según su tamaño.

Circuitos con pilas. Acoplamientos

Las pilas se representan en los circuitos mediante un símbolo, que puede verse en la figura 110. La raya larga y fina es el polo positivo y la corta y gruesa el negativo. Los bornes corresponden a los respectivos polos. El circuito completo de una pila conectada también se ve en la figura 110. El ele-

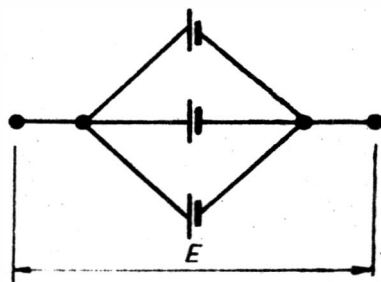


Fig. 112. — Pilas en paralelo.

mento conectado a la pila se representa por un resistor R . Además la pila tiene su resistencia interior propia r , de manera que la resistencia total del circuito será la suma de ambas:

$$R_t = R + r$$

Y si se desea calcular la intensidad de corriente habrá que aplicar la ley de Ohm, pero tomando en cuenta esta resistencia total y no la exterior solamente.

Acoplamiento de pilas. Hay dos ocasiones en las que se usan varias pilas en vez de una sola: cuando se desea tener una tensión mayor que 1,5 V, que es lo que da una de ellas, o cuando se desea tener más capacidad que la de una pila. En el primer caso se conectan varias en serie y en el segundo en paralelo.

Cuando se acoplan varias pilas en serie, según

el esquema de la figura 111, las tensiones de cada pila se suman, teniéndose en total:

$$E = n e$$

Donde e es la f.e.m. de una pila (1,5 V) y n es la cantidad de pilas. Si se acoplan varias pilas en paralelo, según el esquema de la figura 112, la tensión del grupo es igual a la de una sola pila (1,5 V) pero cada pila contribuye al circuito con una parte

de la corriente total, con lo que la capacidad de la batería es igual a la suma de las de todas las pilas. Con el nombre de batería se designa a los dos grupos de pilas, sean en serie o en paralelo. En la práctica, casi todas las baterías que se adquieren ya acopladas en una caja cerrada, tienen las pilas conectadas en serie. Se tienen así baterías secas de 4,5 V de 45, de 90, etc. Siempre se tendrá una cifra múltiplo de 1,5 V.

Día 10

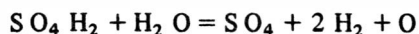
Claro, una pila se usa y hay que tirarla cuando ya no tiene más energía eléctrica acumulada o la tiene en cantidades insuficientes. Por ello se estudiaron los fenómenos electroquímicos reversibles, a efecto de lograr dispositivos que pudieran ser cargados con electricidad y luego usados consumiendo esa carga, para repetir indefinidamente ese ciclo y poder tener siempre energía disponible. Ciertamente es que llega un momento en que tal dispositivo se deteriora por las sucesivas cargas y descargas, pero ello es habitual en otros enseres que envejecen y deben ser desechados y reemplazados por nuevos. Así también los conocidos acumuladores eléctricos, que se encuentran inevitablemente en todos los vehículos, y que son otro exponente de las transformaciones de energía química en eléctrica y viceversa, superando en ese detalle a las pilas que sólo contaban con la primera de esas transformaciones. Y en los últimos años ha surgido una tendencia que puede llegar a acordar a los acumuladores una gran trascendencia, pues se está estudiando el reemplazo de los motores de combustión por eléctricos en los vehículos, y en tal caso los pequeños acumuladores existentes deberán ser reemplazados por otros más grandes, capaces de alimentar a un gran motor de varias decenas de caballos de potencia. Con este introito pasaremos a abordar el tema de la presente jornada.

ACUMULADORES ELECTRICOS

La circulación de la corriente eléctrica por los metales no produce ninguna acción química, pero cuando atraviesa líquidos conductores, hemos visto que se ocasionan toda clase de reacciones químicas. Hemos llamado electrolito al líquido atravesado por la corriente, y electrodos a las dos placas o barras de metal que colocábamos sumergidas en el líquido para permitir la entrada y la salida de la corriente. Es usual designar al electrodo positivo con el nombre de *ánodo* y al negativo con el de *cátodo* y así lo haremos en lo sucesivo. El fenómeno de la descomposición de los líquidos por el pasaje de la corriente se llama *electrólisis*.

Electrólisis del agua acidulada

Si se sumergen dos electrodos de platino en agua acidulada con ácido sulfúrico, y se colocan dos probetas invertidas en la forma que ilustra la figura 113 se puede observar lo siguiente: el pasaje de la corriente descompone al ácido y al agua, obteniéndose:



Y sabemos que el hidrógeno es transportado en el sentido de la corriente, mientras que el oxígeno y el radical sulfato en sentido contrario. De acuerdo con la polaridad indicada en la figura, hemos unido el ánodo al polo positivo de una fuente exterior, y el cátodo al polo negativo, de modo que la corriente circula en el sentido de la flecha.

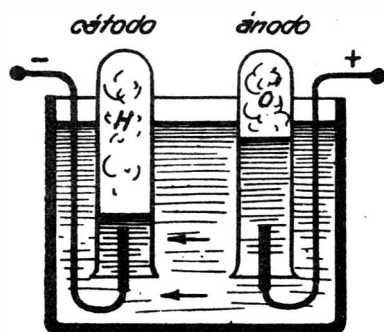


Fig. 113. - Esquema simplificado del voltámetro.

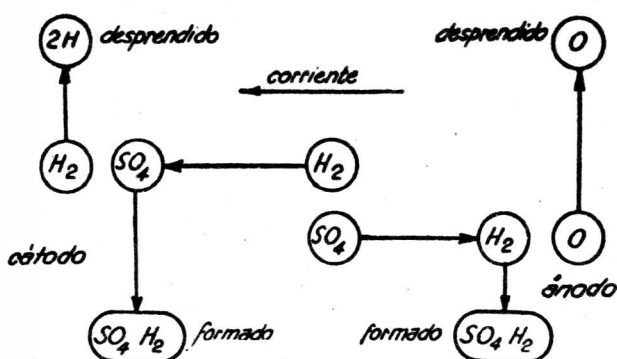


Fig. 114. — Explicación de las reacciones en el voltámetro.

Al cátodo llega el hidrógeno y al ánodo el radical sulfato, según ilustra la figura 114; el hidrógeno se combina con el radical sulfato y forma ácido, desprendiéndose el hidrógeno excedente y recogiendo en la probeta; el radical sulfato que llega al ánodo se combina con el hidrógeno del agua descompuesta formando ácido y desprendiéndose el oxígeno excedente, que se recoge en la probeta. Observando las probetas, se ve que se recoge doble volumen de hidrógeno que de oxígeno, lo que se comprueba por la disminución del nivel del líquido en el interior de las mismas, según muestra la figura 113. A primera vista parecería que lo único que sucedió es que el agua se descompuso en oxígeno, que se dirigió al ánodo y en hidrógeno, que se dirigió al cátodo, pero hemos demostrado que la realidad es distinta. Esto es muy importante para el estudio de los acumuladores.

El aparato descrito toma el nombre de *voltámetro* y tiene muchas variantes según sean las reacciones que se obtengan colocando distintas soluciones y electrodos. Si por ejemplo, se coloca una solución de sulfato de cobre, la corriente descompone a dicha sal en radical sulfato y cobre, dirigiéndose el radical al ánodo y el cobre al cátodo, sobre cuya placa se deposita cubriéndola. Tal sería el voltámetro de cobre.

Otro voltámetro que tiene importancia práctica es el de plata, porque la definición del Amper internacional lo utiliza, según hemos visto. Consta de un vaso de platino que forma el electrodo negativo o cátodo; dentro de él se suspende una barra de plata pura que forma el ánodo. El electrolito se forma con una solución de 20 partes de nitrato de plata en 100 de agua destilada completamente libre de impurezas, especialmente de cloro. De acuerdo con la definición del Amper internacional, cuando el paso de una corriente por este voltámetro deposita una cantidad de 1,118 miligramos de plata por segundo sobre el cátodo de platino, se dice que tiene una intensidad de un Amper.

De los hechos descritos en párrafos anteriores se

debe sacar la siguiente conclusión: si se colocan placas de metales distintos en una solución acidulada y se cierra el circuito exterior entre las dos placas, se forma una pila, según se ha estudiado. Y si se colocan dos placas del mismo metal en una solución acidulada o metalizada y se hace pasar corriente por ella, y aquí está la diferencia fundamental, se produce una descomposición de la solución, con depósito de distintos productos en los electrodos. La corriente en el interior del vaso va del cátodo al ánodo en el caso de la pila, y del ánodo al cátodo en el caso del voltámetro, o sea en sentido contrario. Estos fenómenos permiten plantear la posibilidad de establecer reacciones reversibles, o sea el construir pilas secundarias, elementos secundarios, o acumuladores eléctricos.

Acumulador de plomo. Principio de funcionamiento

Hemos planteado la posibilidad de producir reacciones reversibles en un electrolito utilizando dos electrodos de la misma naturaleza; veamos cómo se obtiene tal elemento, que toma el nombre de acumulador, y que si las placas son de plomo se denomina *acumulador de plomo*. Para tal fin tomemos dos placas de plomo puro, que al contacto con el aire se habrán oxidado, es decir que estarán recubiertas de una capa de óxido de plomo, y sumerjámoslas en un vaso que contiene una solución de ácido sulfúrico. Conectamos un generador eléctrico cualquiera a las dos placas, en la forma que muestra la figura 115 de modo que su polo positivo queda unido a una placa y el negativo a la otra; con esto ya denominaremos ánodo a la placa de la izquierda y cátodo a la de la derecha.

Como el electrolito es conductor, pasará corriente por él y se producirá la descomposición del ácido y del agua, en la forma conocida y vista para los voltámetros, de modo que el hidrógeno llegará

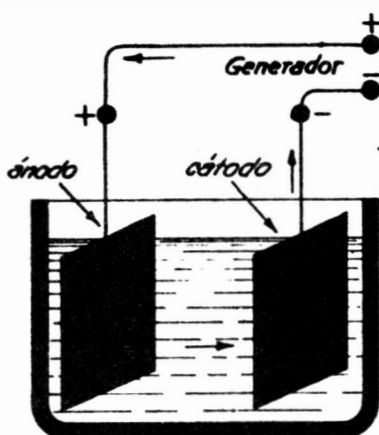
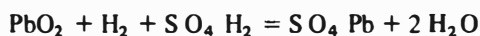


Fig. 115. — Principio del acumulador de plomo durante el proceso de carga.

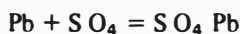
al cátodo y el oxígeno al ánodo. El hidrógeno neutraliza el oxígeno que tiene el óxido que cubre la placa negativa, la que quedará formada por plomo puro; el oxígeno que llega a la placa positiva aumenta el grado de oxidación de ella, lo que se llama peroxidación, obteniéndose peróxido de plomo. En tal situación se dice que el acumulador está *cargado* y listo para funcionar.

Si ahora unimos los dos polos del acumulador con un conductor externo o resistencia exterior o de carga, se comprueba que por ella circula una corriente eléctrica que va del ánodo al cátodo, es decir del positivo al negativo por el circuito exterior, y por lo tanto del cátodo al ánodo por el interior del vaso. Veamos las reacciones que se producen mientras se está descargando el acumulador: la figura 116 ilustra sobre el circuito formado.

El ácido se descompone en sulfato e hidrógeno, dirigiéndose el primero al cátodo y el hidrógeno, que sigue a la corriente, al ánodo; en el ánodo hay peróxido de plomo, ácido y el hidrógeno que llega formándose:



De modo que en el ánodo se forma sulfato de plomo y agua, que reduce la proporción ácida del electrolito. Al cátodo llega el radical sulfato, que ataca al plomo formando también sulfato de plomo:



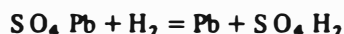
El resultado de la descarga es que hemos perdido parte del ácido, se ha aumentado la cantidad de agua del electrolito, y las dos placas están recubiertas de sulfato de plomo. Cuando deja de pasar corriente por el circuito, o cuando la f.e.m. entre

placas se reduce desmesuradamente, se dice que el acumulador está *descargado*. Ahora para volver a utilizarlo es menester cargarlo.

Para tal fin volvemos a conectarlo de acuerdo con la figura 115 a un generador eléctrico, respetando la polaridad indicada. El paso de la corriente se cumple ahora en sentido contrario y el electrolito se descompone yendo el radical sulfato a la placa positiva y el hidrógeno a la negativa. Las reacciones que se producen son: en el ánodo tenemos sulfato de plomo, agua y el radical sulfato que llega:



Y vemos que se vuelve a tener la placa positiva con peróxido de plomo, y se pierde agua recuperando ácido sulfúrico. Es decir, se regenera el electrodo y el electrolito. A la placa negativa o cátodo llega el hidrógeno, el cual con el sulfato que tenemos en esa placa forma:



Y se ve que volvemos a tener plomo puro en el cátodo y regeneración del electrolito. Cuando termina la carga del acumulador, el hidrógeno que llega no puede combinarse y se desprende en forma de burbujas, avisando que ha terminado la carga y el acumulador queda *cargado* y listo para volver a utilizarlo.

El nombre de acumulador se le ha dado por la propiedad de acumular energía eléctrica para usarla en el momento deseado. Como se ve se trata de un dispositivo reversible, capaz de almacenar energía eléctrica para utilizarla después.

Formación de las placas

El proceso inicial descrito anteriormente para

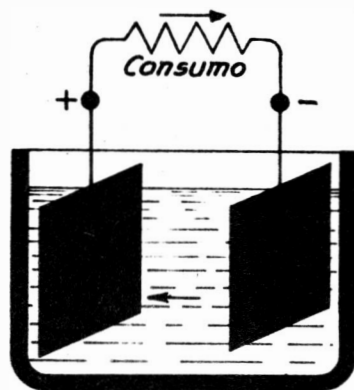


Fig. 116. — Acumulador de plomo durante el proceso de descarga.

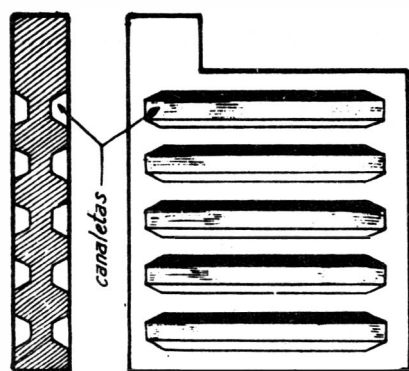


Fig. 117. — Aspecto de una placa de formación natural.

formar la capa de óxido y el plomo puro en ambas placas, positiva y negativa respectivamente, no es tan sencillo como parecería; para obtener un funcionamiento prolongado mientras el acumulador alimenta la carga, es menester que la capa formada sobre las placas tenga un espesor considerable. Además, a mayor superficie de placas mayor será la capacidad, es decir la cantidad de electricidad que se puede acumular y luego utilizar.

Por esas razones conviene construir placas de gran superficie útil, pero sin que ocupen mucho lugar, para reducir el volumen del acumulador completo. El aumento de la superficie útil se consigue haciendo acanaladuras profundas en la forma que se puede ver en la figura 117 o construyendo la placa con una serie de nervaduras salientes.

El proceso de formación de las placas se puede hacer en dos formas netamente distintas que se denominan: *natural* o Planté y *artificial* o Faure. La diferencia en los procesos hace que las de formación natural sean más costosas, por lo que se emplean en instalaciones fijas de usinas o fuentes estables, mientras que las artificiales se emplean en acumuladores para servicios móviles, más económicos.

La formación natural consiste en someter a la placa a una serie de cargas y descargas prolongadas a régimen lento, colocadas en un baño de menor concentración ácida que el normal. En esta forma las placas positivas se cubren de una espesa capa de bióxido de plomo y las negativas se convierten en plomo esponjoso, así llamado por el aumento de volumen y la aparición de multitud de celdillas cuyo aspecto es similar al de la esponja.

La formación artificial ideada por Faure consiste en construir la placa con sus celdas, generalmente en forma rectangular según muestra la figura 118 y rellenarlas con pastas activas. El con-

junto se cubre con una placa de plomo perforada o una tela metálica. Las pastas pueden ser a base de óxido de plomo y ácido sulfúrico, o como se hace actualmente, se rellenan las celdas de la placa positiva con minio y las de las negativas con litargirio; una vez rellenas se cubren con un enrejado que mantiene las pastas en su lugar.

El inconveniente de las placas de formación artificial es que las pastas aumentan de volumen mientras trabaja el acumulador, y esa expansión produce roturas en la malla y desprendimiento de pastas. Por tal motivo se construyen muchas veces acumuladores de formación mixta, en los cuales las placas positivas se hacen con formación artificial, pero recubriéndola con una placa perforada de plomo; las negativas son de formación natural, pero se aumenta la superficie mediante nervaduras transversales (figura 117) o conjuntos de nervaduras cruzadas. La razón de adoptar placas negativas naturales es el mayor deterioro de éstas durante el funcionamiento. La formación mixta del acumulador, con placas positivas artificiales y negativas naturales se suele llamar Tudor.

Las placas de formación natural en estado normal tienen coloraciones que las distinguen, pues las positivas son marrón violáceo y las negativas gris azulado. Cualquier alteración en la coloración es indicio de *sulfatación*, es decir alteración química por falta de uso, exceso de descarga, etcétera. Las positivas se vuelven grisáceas y las negativas blanco lechoso. En las de formación artificial esos indicios hay que basarlos en las deformaciones que sufren las placas al sulfatarse. Las placas sulfatadas pueden regenerarse sometiéndolas a procesos prolongados de cargas y descargas a régimen lento.

Los acumuladores no tienen una sola placa positiva y una negativa, sino que se unen varias en paralelo, según muestra la figura 119. Se consigue

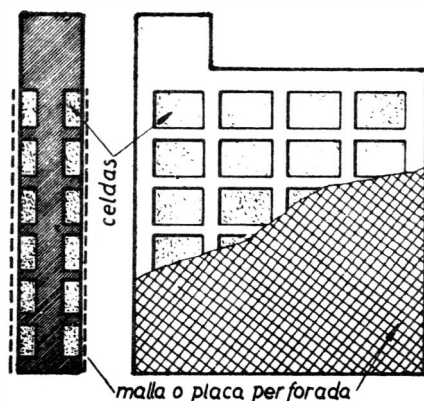


Fig. 118. — Aspecto de una placa de formación artificial.

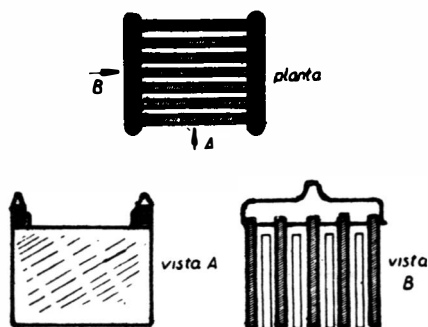


Fig. 119. - Distribución de las placas de un elemento de acumuladores.

así un aumento de la superficie útil, a la vez que las placas trabajan en las dos caras, excepto las extremas. Las partes superiores de las placas tienen salientes para sujetar los soportes puentes que las conectan entre sí alternadamente, por un lado las de un signo y por el otro las del otro. Entre las placas se colocan piezas separadoras para evitar que se toquen, las cuales deben ser de material no atacable por el ácido; se utiliza madera tratada químicamente, gutapercha, etcétera.

Electrolito para acumuladores

El líquido activo que se coloca en el vaso del acumulador está formado por una mezcla de agua destilada y ácido sulfúrico, la cual debe ser preparada vertiendo el ácido en el agua y no al contrario, para evitar salpicaduras del ácido. Al preparar la mezcla se notará una elevación de temperatura por lo que se dejará enfriar hasta unos 30°C , después de lo cual puede verse en el vaso.

La proporción de ácido con respecto al agua varía para acumuladores fijos y portátiles, y se establece en peso o en volumen. Los acumuladores fijos tienen solución al 25% en peso, lo que quiere decir que en 100 partes del electrolito hay 25 de ácido y 75 de agua en peso, y dado que el peso específico del ácido puro es de 1,9 y del agua destilada 1,0, esas proporciones en peso se transforman en 15 partes de ácido y 85 de agua para 100 partes de electrolito en volumen.

Para acumuladores portátiles, el electrolito requiere una proporción mayor en ácido, ya que se trata de economizar tamaño y peso de acumulador, por lo cual se lo somete a condiciones de trabajo más rudas. En este caso las proporciones en peso son 40 de ácido y 60 de agua en 100 partes de electrolito, lo cual reducido a proporciones en volumen resulta 30 partes de ácido y 70 de agua aproximadamente, es decir 2 volúmenes de ácido

por cada 5 volúmenes de agua, en cifras medias.

La densidad del electrolito varía durante la carga y descarga, por la alteración de las proporciones del ácido que vimos en el principio de funcionamiento. Midiendo entonces esa densidad en cualquier estado de carga o descarga se puede tener una idea de cuál es el estado. Para acumuladores fijos la densidad varía desde 1,15 totalmente descargado hasta 1,20 totalmente cargado. Para acumuladores portátiles esos límites son 1,10 descargado y 1,30 cargado totalmente.

La comprobación de la densidad del electrolito se hace con el densímetro, aparato que está ilustrado en la figura 120 y que se basa en lo siguiente, para medir la densidad de los líquidos se puede aprovechar el empuje hacia arriba que experimentan los cuerpos sumergidos, que es igual al peso de igual volumen del líquido que desalojan. Así, si se coloca un tubo con contrapesos sumergido parcialmente en el electrolito, se sumergirá más o menos según sea la densidad del líquido; colocando una escala graduada por tarado en el tubo flotador se puede leer en ella la densidad del electrolito. Por comodidad, el tubito se coloca dentro de otro de mayor diámetro, con dos ori-

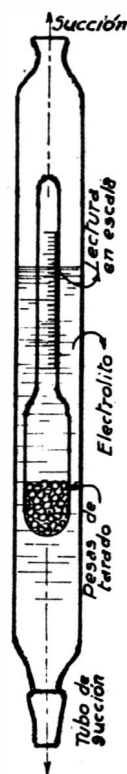


Fig. 120. - Corte esquemático de un densímetro para acumuladores

ficios en los extremos; por el orificio inferior se aspira electrolito mediante un tubo de goma sumergido en el acumulador, y por el orificio superior se hace la succión necesaria con un émbolo o con una esfera o pera de goma. Una vez que tenemos en el tubo mayor suficiente nivel de líquido, se observa hasta qué nivel queda sumergido el tubito flotante y se hace lectura.

En el uso de acumuladores se debe verificar periódicamente el electrolito y el densímetro es el acusador directo de las proporciones de agua y ácido. Cualquiera que sea el elemento que falta en la proporción correcta, se agrega siguiendo las normas ya establecidas. Los acumuladores portátiles tienen en la tapa un orificio con tapón para este fin, de modo que se puede verter el líquido con ayuda de un embudo.

Régimen de carga y descarga

En cifras redondas se acostumbra a especificar que la f.e.m. de un acumulador de plomo es de 2 Volt por elemento, pero analizando la cuestión veremos que esa cifra sólo representa la f.e.m. media durante la descarga. En efecto, hemos visto las reacciones y proceso de carga del acumulador, que comenzaba cuando se tenía sulfato de plomo en las dos placas y terminaba cuando se desprendían burbujas de las placas, que era el hidrógeno excedente.

Si se desea cargar un acumulador, hay que conectarlo a un generador eléctrico que tenga entre sus bornes la tensión necesaria. Esta tensión no es constante, sino que al principio, cuando el acumulador está totalmente descargado es del orden de 2,1 Volt necesarios para iniciar el proceso. En cuanto comienza la carga aumenta la densidad del electrolito y se hace necesario aumentar la tensión aplicada, la que ahora es de unos 2,2 Volt: cuando está por terminar el proceso de carga, la densidad del líquido es máxima y hay que aumentar la

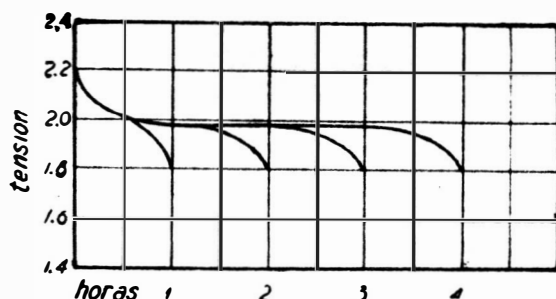


Fig. 122. — Gráfica de la marcha de la descarga de un acumulador.

tensión para llegar al fin de carga, alcanzándose la cifra de 2,7 Volt.

Gráficamente se puede representar las variaciones de la tensión durante la carga en un diagrama como el de la figura 121. En las abscisas se toma el tiempo y el hecho de que en la figura sea de 3 horas es porque se ha admitido convencionalmente que ése es el periodo normal de carga. Habitualmente, y siempre que sea posible, se carga a mayor tiempo, que es más o menos en cifras la décima parte de la capacidad de la batería; así una batería de 80 Amper-hora se carga en 8 horas, con una intensidad de corriente de 10 Amper.

La descarga del acumulador sobre el circuito de consumo también se hace a un régimen determinado por las condiciones del servicio. La f.e.m. del elemento varía durante la descarga en la forma como se muestra en la figura 122. El valor medio está alrededor de los 2 Volt, comenzando por 2,1 a 2,15 en el momento que está totalmente cargado y bajando durante la descarga en proporción que depende del tiempo que dure la misma. Así, para descarga rápida la f.e.m. cae más que para descarga lenta, como se observa en el diagrama.

Además del efecto sobre la f.e.m. del acumulador, la duración de la descarga influye también sobre la capacidad útil de la batería: ello se debe a que los procesos químicos acelerados no se completan como cuando se hacen lentos, de modo que si la intensidad de corriente se mantiene en valores reducidos, el proceso se completa y se obtiene mayor cantidad de electricidad que con descargas bruscas en tiempo breve.

Para notar la influencia que tiene el tiempo de descarga total, recordamos que la capacidad del acumulador vale:

$$Q = I t$$

Donde I es la corriente en Amper y t el tiempo en horas; si se especifica como capacidad normal la

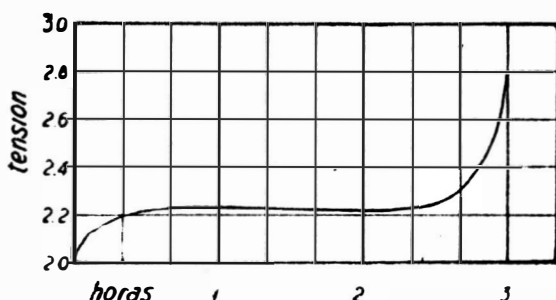


Fig. 121. — Gráfica de la marcha de la carga de un acumulador.

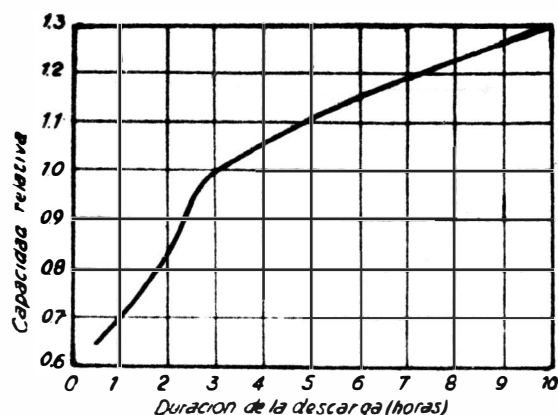


Fig. 123. - Efecto de la duración de la descarga en la capacidad de un acumulador.

que tiene para régimen de 3 horas, la intensidad normal de descarga sería:

$$I = \frac{Q}{3}$$

Es decir la tercera parte de la cifra de capacidad en Amper-horas del acumulador. Si la descarga se hace en distinto tiempo, por tenerse mayor o menor intensidad de corriente, la capacidad se altera en la forma como lo muestra el gráfico de la figura 123. Las ordenadas dan la capacidad relativa, que vale la unidad para 3 horas. Es interesante destacar que para descarga en 10 horas la capacidad resulta aumentada en un 30% y que para descarga en una hora se reduce en 30%, lo que da idea de la influencia que tiene este detalle.

Rendimiento del acumulador

La cantidad de electricidad que absorbe el acumulador para cargarse es mayor que la que entrega al circuito de consumo; en cifras medias la relación entre la cantidad útil y la gastada para cargarlo es de 0.85 a 0.95, es decir que el rendimiento se mantiene entre 85% y 95%, correspondiendo las cifras mayores a los acumuladores fijos y las menores a los portátiles. No debe confundirse este rendimiento, llamado *en cantidad*, con el denominado *en energía* en el cual relacionamos la energía eléctrica utilizada en el circuito de consumo y la gastada para cargarlo, lo que da una cifra de 70% a 85% en valores medios.

Carga a tensión o a corriente constante

La carga de un acumulador se puede hacer en

dos formas distintas, según se mantenga constante la tensión de carga o la corriente. El uso de una u otra forma está regido por el tipo de generador o fuente empleada en el proceso y la comodidad de la operación. Por de pronto, para cargar un elemento de acumulador será menester una tensión mayor que la f.e.m. del elemento, pues hay que vencer o cubrir las caídas internas de potencial. Tales caídas no son otras que las producidas por el pasaje de la corriente de carga por la resistencia interna del acumulador o resistencia de todas las substancias que se encuentran entre las placas.

La resistencia interna de un acumulador depende de diversos factores, como ser la superficie y distancia entre las placas, estado y densidad del electrolito, temperatura del mismo, etcétera. En todos los casos esa resistencia es mayor cuando está descargado, ya que al disminuir la proporción de ácido el electrolito se hace menos conductor, o sea de mayor resistencia.

Ayrton dio una fórmula empírica para calcular la resistencia interna de un acumulador cargado, dada en Ohm para una superficie S en decímetros cuadrados de todas las placas positivas:

$$r = 0,0015 S$$

Y especificó que estando descargado la resistencia aumentaba hasta $2r$.

Para acumuladores portátiles la resistencia interna es bastante uniforme en los diversos modelos, y puede estimarse que vale, en cifras medias:

0,005 a 0,007 Ohm, estando totalmente cargado

0,015 a 0,025 Ohm, estando totalmente descargado.

Y se ve que en los portátiles la resistencia aumenta unas tres veces al descargarse, con respecto a 2 veces que aumentaba en los fijos, debido al régimen más severo que tienen los primeros.

Conocida la resistencia interna se puede calcular la tensión necesaria en el generador para cargar un acumulador. Se sobreentiende que las cifras que obtendremos valen para un solo elemento, cualquiera que sea el número de placas, pero para un solo acumulador. Para baterías de varios elementos en serie debe tomarse una tensión N veces mayor, si N es el número de elementos conectados en serie.

La tensión necesaria para carga a tensión constante se calcula sumando a la f.e.m. máxima que era de 2.5 Volt la caída que produce la corriente de carga en la resistencia interna máxima, que es cuando está descargado y vale $2r$. De modo que calculamos la tensión V necesaria sumando a 2.5 esa caída de tensión:

$$V = 2,5 + 2 r I$$

Y la corriente I es la que se ha adoptado, dividiendo la capacidad del acumulador en Amper-horas por el tiempo en horas en que se desea cargarlo.

Para cargar el acumulador a corriente constante debemos tener un generador de tensión variable, pues al principio hace falta una tensión menor que al final, como se deduce del gráfico de carga en la figura 121. Además, como la resistencia interna es distinta en el momento inicial que en el final, la caída de tensión que se produce en ella también será distinta, teniéndose lo siguiente:

Para iniciar el proceso de carga la tensión debe valer el valor mínimo de la curva de carga más la caída de tensión en la resistencia interna que vale $2 r$ para estado de total descarga; se tiene entonces:

$$V = 1,8 + 2 r I$$

Para finalizar el proceso, cuando el acumulador termina su carga, la tensión se habrá aumentado paulatinamente hasta un valor dado por la suma del valor mayor del gráfico de carga más la caída interna en la resistencia que vale sólo r :

$$V = 2,5 + r I$$

Y como este segundo valor de tensión es mayor que el anterior, el generador debe tener un regulador que permita hacer el ajuste gradual desde el primer valor hasta el segundo. Existen dispositivos automáticos que se encargan de ello, para lo cual su funcionamiento se basa en la mantención de un régimen constante de la corriente de carga.

Formas de cargar la batería

Hay dos procedimientos en uso: con generadores de corriente continua y con rectificadores. El primer sistema emplea una dinamo de corriente continua, según el esquema de la figura 124, la que debe suministrar la tensión necesaria para la

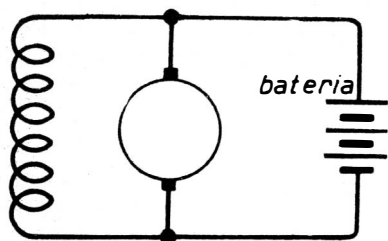


Fig. 124. - Carga de la batería con dinamo.

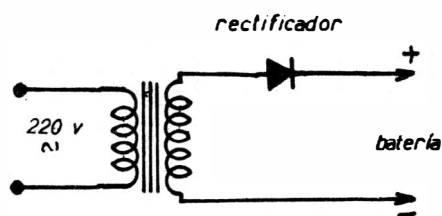


Fig. 125. - Carga de la batería con rectificador.

carga. Está provista de reóstatos para variar la tensión si se desea que la intensidad se mantenga constante durante todo el proceso de la carga.

El empleo de rectificadores se hace cuando no se dispone de corriente continua de baja tensión. Si la red es de alternada se usa un esquema como el de la figura 125, con un transformador reductor de tensión y un rectificador seco. Se respetará la polaridad indicada en la figura.

La fijación de una intensidad de carga conviene hacerla en todos los casos, y se determina mediante el conocimiento de la capacidad total del acumulador dada en Amper-horas y el tiempo en que se desea cargarlo, en horas. Esa intensidad de carga será, entonces:

$$I = \frac{Ah}{h}$$

Donde $A h$ es la capacidad del acumulador (por ejemplo 120 Amper-horas) y h es el número de horas en que se realiza la carga (por ejemplo 10 horas). Con los números citados como ejemplo, se tendría que la intensidad de carga es 12 Amper.

La densidad del electrolito varía durante la carga desde 1,175 hasta 1,28. Mediante un *densímetro* se puede saber en cualquier momento el estado del acumulador, pues si acusa 1,28 está totalmente cargado y para 1,18 está descargado. Esa diferencia de 0,1 se reparte en porciones que acusan la carga que queda.

Para uso en los automóviles se construyen baterías de 3 y 6 elementos a fin de disponer de tensiones de 6 Volt y 12 Volt pues cada elemento suministra 2 V. La capacidad es variable desde 80 A h hasta 180 Amper-horas.

Acumuladores alcalinos

Tratando de diseñar acumuladores que fueran más livianos que los de plomo, Edison dio la norma con los de hierro-níquel, los que en virtud de no emplear ácidos como electrolitos se denominan alcalinos, que en Química expresa lo opuesto a

ácido. Estos acumuladores se construyen con placas positivas o ánodos de hidróxido de níquel y placas negativas o cátodos de hierro; el vaso es de una delgada lámina de acero, y como las placas son consistentes se hacen de espesor reducido, todo lo cual redundará en un menor tamaño y peso, al extremo que se ha conseguido fabricarlos para capacidades de 12 a 16 Amper-hora por kilogramo de peso.

El electrolito es una solución de potasa cáustica (KOH) al 21% en peso, con densidad normal de 1,2, es decir que en 100 partes del electrolito hay 21 de potasa y 79 de agua, relacionadas en peso. Las reacciones que se cumplen son las siguientes:

Estando el acumulador cargado el ánodo es de hidróxido de níquel, el cátodo de hierro puro y el electrolito es potasa cáustica, que se descompone al paso de la corriente de descarga en potasio y radical oxidrilo; el primero va al ánodo, pues es metal y sigue la corriente que en el interior va del cátodo al ánodo según se vio anteriormente; el radical va al cátodo, de manera que se tiene:

reacciones de descarga;

electrolito: $2 \text{ K O H} = 2 \text{ K} + 2 \text{ O H}$

ánodo: $2 \text{ Ni (O H)}_2 + 2 \text{ K} = 2 \text{ Ni (O H)}_2 + 2 \text{ K O H}$

cátodo: $\text{Fe} + 2 \text{ O H} = \text{Fe (O H)}_2$

Y resulta que el ánodo se desoxida, el cátodo se convierte en hidróxido de hierro y el electrolito se regenera automáticamente. Para cargarlo, una vez que ha terminado la descarga, se lo conecta a un generador circulando corriente en sentido contrario, según sabemos y cumpliéndose las siguientes reacciones:

reacciones de carga:

electrolito: $2 \text{ K O H} = 2 \text{ K} + 2 \text{ O H}$

El metal potasio sigue la corriente y va al cátodo, mientras que el radical oxidrilo va al ánodo.

ánodo: $2 \text{ Ni (O H)}_2 + 2 \text{ O H} = 2 \text{ Ni (O H)}_2$

cátodo: $\text{Fe (O H)}_2 + 2 \text{ K} = \text{Fe} + 2 \text{ K O H}$

Y volvemos a obtener los dos electrodos en su composición original, con regeneración automática del electrolito.

Las curvas de carga y descarga son similares a las que vimos para los acumuladores de plomo, sólo que hay diferencia en los números, pues la tensión para la carga comienza por valer 1,6 Volt y sube hasta 1,8 Volt al fin de la carga, siguiendo una curva similar a la que vimos para los de plomo. La tensión durante la descarga comienza por valer 1,4 Volt al principio y baja hasta 1,0 Volt cuando está totalmente descargado. Para los fines prácticos se toma como valor medio de la f.e.m. 1,3 Volt, así como en el de plomo adoptábamos la cifra de 2 Volt.

El rendimiento en cantidad de los acumuladores alcalinos varía según las diferentes construcciones desde 70% a 85%, en valores medios. Como se ve es algo inferior a los de plomo. El rendimiento en energía oscila entre 50 a 70%. La menor cifra de rendimiento de los de ferro-níquel con respecto a los de plomo queda compensada por su menor tamaño y peso, que los hace muy aptos para servicios móviles, ya que presentan una gran resistencia a las trepidaciones y solidez constructiva.

En cuanto a la formación de placas, se siguen procedimientos análogos a la formación artificial o Faure de los de plomo, rellenando las celdillas de las placas con las pastas activas, y envolviendo el conjunto en placas perforadas o mallas metálicas. Las fábricas suelen recomendar que periódicamente se hagan cargas más lentas que las normales, a doble tiempo por lo menos cada diez cargas, a fin de reactivar el electrolito y las pastas.

Día 11

Así como los principios básicos de la Electricidad nos ocuparon durante tres capítulos y los generadores y motores eléctricos también fueron explicados a lo largo de tres jornadas, hemos llegado ahora a un tema que necesita de tres días para su tratamiento. Es el de las instalaciones eléctricas y las hemos subdividido en las de iluminación, las de llamada o alarma y las de fuerza motriz. Estas últimas aparentan tener un carácter industrial, pero en realidad se llama así a todas las que tienen motores eléctricos de cierta potencia, ya que quedan excluidos los de uso doméstico. Entonces la instalación de ascensores en los edificios entra en tal categoría y la de un taller con máquinas diversas también. La primera parte de este grupo de instalaciones abarca a las de iluminación eléctrica, no importando que sean pequeñas o grandes y si usan lámparillas de filamento o de otro tipo. Tales instalaciones necesitan accesorios diversos, como son los interruptores, los tomacorrientes para conexión de lámparas transportables, los tableros parciales y generales, etc. Todo eso será considerado aquí y además veremos la manera de distribuir las cañerías para realizar la instalación en una casa cualquiera que nos servirá de modelo. Después de estas consideraciones iniciales podemos abordar nuestro tema.

INSTALACIONES ELECTRICAS DE ILUMINACION

A esta altura del libro ya sabemos cómo funcionan todos los dispositivos eléctricos de uso común en la Técnica, sean ellos motores, generadores, transformadores, etc. Veremos ahora cómo se hacen las instalaciones para que funcionen, considerando los casos prácticos más comunes. Por analogía se resolverán los que no figuran aquí.

Las instalaciones eléctricas se pueden clasificar en varios grupos según la forma de aprovechar la energía o los fines de la instalación en sí. Podemos agrupar las instalaciones para producir luz, las instalaciones de llamada o alarma y las instalaciones industriales, que se denominan generalmente de fuerza motriz, pues no siempre se encuentran obligadamente en la industria.

Se comprende que no sería posible tratar en detalle todos los casos de cada uno de los grupos citados, de manera que haremos una revisión de los tres grupos, a los que llamaremos: iluminación, llamada y fuerza motriz. Este capítulo se dedicará al primer grupo, o sea a las instalaciones eléctricas de iluminación, con las salvedades que, por razones prácticas, se citan a continuación.

Se ve así que, dentro de los temas principales de

este capítulo, se pueden involucrar todas las instalaciones de luz eléctrica, salvo algunas excepciones que escapan al título general de la obra y que justifican así su omisión. En cada caso se podrán hacer comparaciones con la instalación real y el modelo que se proponga, para deducir de esa manera la forma de proceder. Las tablas prácticas servirán como ayuda para ahorro de tiempo y de cálculos que a veces se hacen engorrosos, por la contemplación de detalles empíricos que no se tienen presente a cada momento. Y más adelante veremos también cómo se revisan todas estas instalaciones para verificar el funcionamiento y encontrar las fallas.

Instalaciones de iluminación

Primeramente debemos considerar los diversos tipos de lámparas que se usan para el alumbrado eléctrico. Así encontraremos las lámparas incandescentes, que son las más antiguas y comunes, las lámparas de vapores metálicos (sodio o mercurio) los tubos a neón, los fluorescentes, etc.

Sería ocioso entrar en detalles sobre los aspectos que ofrece cada una de ellas pues son bien conocidas, pero describiremos los circuitos de conexión por ser interesante para el objeto de este capítulo.

Lámparas incandescentes y de vapores metálicos

Agrupamos todos esos tipos por ser de idéntica forma de conectarse. Todas se conectan mediante dos conductores a la red intercalando el interruptor que permitirá encenderlas o apagarlas. Se les coloca un portalámpara generalmente a rosca y del mismo salen los dos conductores que van al circuito. Más adelante veremos en detalle todos los circuitos simples y de combinación para maniobrar estas lámparas.

Las lámparas incandescentes pueden tener filamento carbónico o metálico. Las primeras han caído en desuso para iluminación, empleándose únicamente en estufas o secadores eléctricos. Las de filamento metálico se construyen con alambre de tungsteno, arrollado en espiral simple o doble (duospiral). Las de pequeña potencia tienen su ampolla de vidrio al vacío, pero las más grandes la tienen llena de un gas inerte como el nitrógeno.

Hay lámparas incandescentes para potencias de 15 a 1000 Watt, en la siguiente escala:

15, 25, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 500,
1000 Watt

Para las comprendidas entre 15 y 200 Watt se emplean portalámparas con rosca común o *Edison*. Hay algunas de pequeña potencia que se colocan en portalámparas *mignon*, de rosca más pequeña. Las de gran potencia emplean portalámparas más robustos, con rosca *Goliath*, a fin de asegurar un mejor contacto.

En cuanto a la terminación de la ampolla las

hay comunes, transparentes, o con el vidrio esmerilado, opalino o de colores. Hay también con la mitad del interior de la ampolla espejada para aumentar la reflexión de la luz.

Las lámparas de vapores metálicos se emplean por su mayor rendimiento luminoso que llega a ser cuatro veces el de las incandescentes (las de sodio). Tienen el inconveniente que cambian la coloración de los objetos, por lo que no se emplean en residencias sino más bien en iluminación comercial, mezclada con lámparas incandescentes (las de mercurio) o en carreteras y playas portuarias (las de sodio). En cuanto a su conexión a la red se hace con un portalámpara del mismo tipo que el de las lámparas comunes, de manera que pueden aplicarse aquí todos los esquemas de conexión que veremos más adelante.

Tubos de neón

Son tubos de vidrio con los que se hacen dibujos del más variado aspecto para empleo en avisos luminosos. También los hay rectos para iluminación comercial de vidrieras o salones. Pero hay que aclarar que cambian los colores, de modo que hay que mezclarla con luz común para evitar efectos desagradables. Se consigue con estos tubos vistosos efectos luminosos de distintos colores, según el gas que se coloque en el interior de los mismos.

Trabajan bajo el principio de la descarga gaseosa que se produce entre dos placas o electrodos, colocados en los extremos de un tubo en el que se ha hecho el vacío y se ha introducido un gas enrarecido. Aplicando una tensión elevada entre los electrodos se produce una columna luminosa que abarca todo el tubo, casi sin interrupción. En realidad está cortada en la cercanía del electrodo negativo, pero no se nota en la práctica.

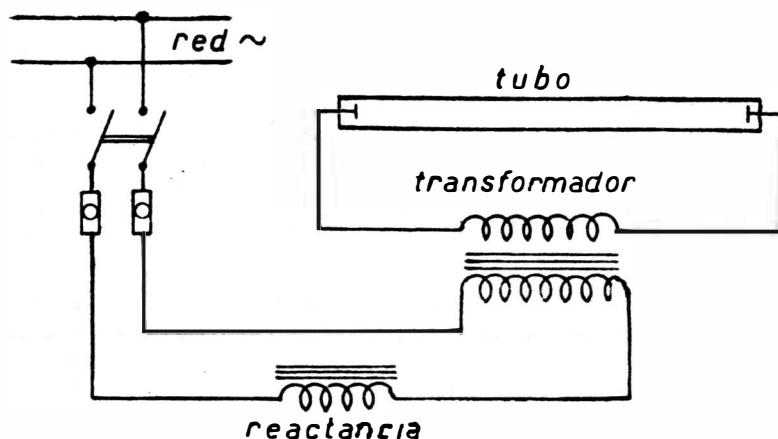


Fig. 126. — Conexión de tubos de neón.

Para encenderlos requieren un poco más de tensión (25%) que para el funcionamiento normal, por lo que debe proveérseles de una reactancia en serie que suministra la sobretensión necesaria. El esquema de conexión de un tubo a neón se ve en la figura 126 notándose el transformador elevador de tensión, pues el tubo trabaja con varios cientos de Volt.

La precaución principal que hay que tener con los tubos a neón es limitar la corriente a los valores especificados, lo que se consigue con la misma reactancia, con resistores en serie o construyendo el transformador elevador a dispersión magnética. Este último sistema es el preferido porque evita los elementos adicionales resistor o reactancia. Con ese tipo de transformador la tensión se reduce automáticamente cuando el tubo se encendió, debido a que hay tendencia a aumentar la corriente, pero se produce una fuga del flujo magnético que reduce la tensión inducida y se regula automáticamente la tensión y la corriente.

Características de tubos de neón

Diámetro del tubo mm	Corriente mA	Tensión por metro (V)	
		Neón	Neón y argón
10	15	900	600
15	20	750	450
18	30	600	350
20	40	500	320
25	60	430	300

Las coloraciones que se obtienen con tubos de este tipo según el gas interior son:

Rojos neón sólo
Azul neón, argón y algo de vapor de mercurio

Amarillo helio
Violeta criptón
Azul celeste xenón

Tubos fluorescentes

Son también tubos de descarga gaseosa, pero en lugar de aprovechar directamente la irradiación producida se la hace incidir sobre una substancia que recubre las paredes del tubo, la que a su vez se encarga de producir radiaciones luminosas de distintas coloraciones. Dentro del tubo hay un poco de mercurio para que, al vaporizarse, se produzcan radiaciones violáceas que aumentan la excitación de la substancia fluorescente. Las substancias más comunes empleadas son:

Tungstato de calcio para color azul
Silicato de zinc “ “ verde
Silicato de zinc y berilio “ “ amarillo
Silicato o borato de cadmio “ “ rosa

Tienen la ventaja sobre los tubos a neón de que trabajan con las tensiones de la red (110 ó 220 Volt) y que sirven para iluminación doméstica o de oficinas, porque no deforman apreciablemente los colores. Sin embargo hay un poco de efecto estroboscópico, lo que se remedia conectando dos tubos en montaje de oposición de fase (*twolamp*).

El tubo tiene dos filamentos, uno en cada extremo que se conectan sólo en el momento inicial para que al ponerse incandescentes inicien la descarga. Luego se pueden desconectar, quedando unidos al circuito por un solo extremo para servir como electrodos. Esta maniobra se realiza automáticamente mediante el arrancador *A* (ver figura 127). Para elevar la tensión de encendido se conecta una reactancia que se ve en el esquema y para compensar el desfase excesivo de la co-

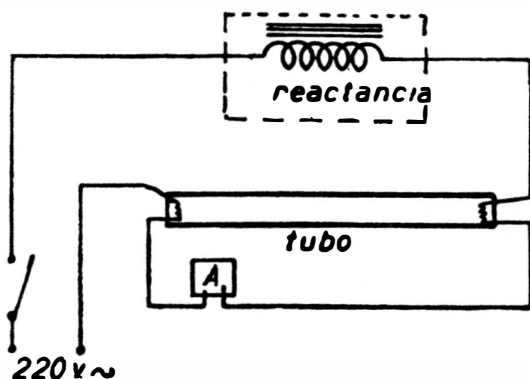


Fig. 127. — Conexión de tubos fluorescentes.

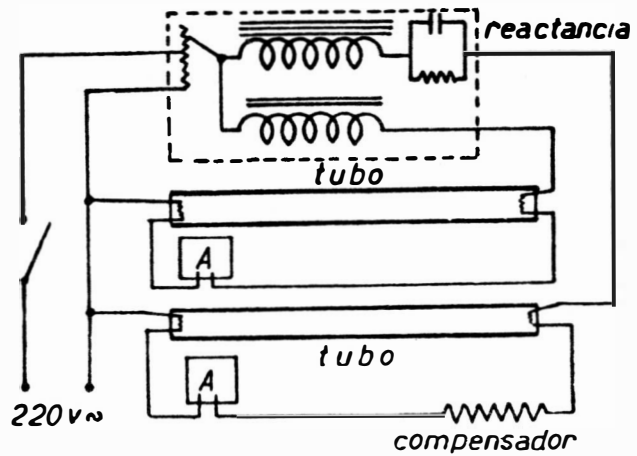


Fig. 128. -- Montaje "Twolamp" para dos tubos fluorescentes.

riente puede emplearse un capacitor de capacidad comprendida entre 10 y 50 microfarad.

En el montaje compensador del efecto estroboscópico se conectan dos tubos en la forma que muestra la figura 128. Se economiza así una reactancia y un capacitor, pues una sola unidad sirve para los dos tubos. Pero hay que conectar dos arrancadores, uno debajo de cada tubo, para la desconexión de la serie de filamentos. Un compensador se encarga de limitar la corriente en el tubo que lleva capacitor en serie, pues adquiriría valores elevados y perjudicaría la vida útil del tubo. El arrancador es generalmente del tipo térmico, con una lámina bimetálica que al calentarse por el pasaje de la corriente se curva y abre el circuito. Viene en unidades recambiables lo mismo que la reactancia y el compensador. En derivación con el arrancador bimetálico se conecta un capacitor para absorber la chispa del arco que se forma al abrirse el circuito.

Se recomienda especialmente la temperatura de trabajo, pues si se mantiene el recinto dentro de 20 a 25°C el rendimiento es máximo. Los tubos trabajan bastante fríos comparados con las lámparas incandescentes, pues se mantienen a unos 40 a 50°C. La tabla de características de algunos datos técnicos de interés.

Características de tubos fluorescentes

Potencia nominal (W) . . .	30	40	100
Longitud del tubo (cm) . .	90	122	152
Diámetro del tubo (mm) . .	25,4	38,1	54
Corriente (A)	0,34	0,41	1,45
Tensión nominal (V)	220	220	220
Vida útil (horas)	2500	2500	3000

Actualmente se encuentran también tubos

de 15 W con longitud de 40 cm, de 20 W con largo de 60 cm y de 30 W con largo de 90 cm, todos con diámetro de 38,1 mm.

Normalmente se especifica el flujo luminoso de estas lámparas como el correspondiente al que tienen después de 100 horas de funcionamiento, período en el cual se oscurecen levemente las paredes del tubo. Generalmente hay que cambiarlos a las 2000 horas de funcionamiento por ennegrecimiento y no por desgaste.

Proyecto de la instalación de iluminación

Conocidas las lámparas más comunes en las instalaciones para luz, hay que dedicarse ahora a revisar las normas para ejecutar el proyecto de la instalación que alimentará las distintas lámparas del edificio, que permitirá encenderlas y apagarlas y ubicar y conectar los tableros generales de maniobra.

Si se tiene la ubicación de las distintas bocas de luz, que pueden ser bocas para instalar lámparas o bocas para toma de corriente para artefactos portátiles, llamadas ambas bocas de luz y tomas respectivamente, el proyectista debe encarar la distribución de la cañería y conductores y ubicar los tableros.

La fijación del número de bocas de luz, de brazos en la pared o centros en el techo y los tomas, responde a un criterio práctico basado en la experiencia. Generalmente esos detalles están fijados por el que encarga la instalación.

Debe ponerse especial cuidado en la ubicación que se dará a las llaves de comando de las distintas luces, que deben quedar cerca de las puertas, y del lado donde está la cerradura y no del lado de las bisagras. Si en el ambiente hay más de una puerta, hay que colocar varias llaves que comanden la

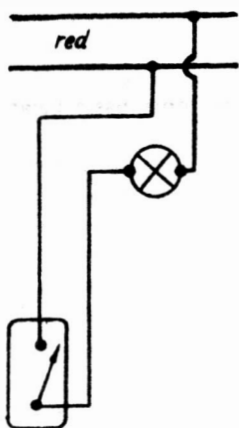


Fig. 129. - Conexión de una lámpara simple.

misma luz, o ubicar la única llave junto a la puerta de mayor importancia o frecuencia de paso.

Los tomas conviene colocarlos junto al zócalo, por razones de estética, salvo algunos especiales para reloj eléctrico y para ventilador por ejemplo, que se ubican más altos. A falta de indicación especial se colocarán cerca de las ventanas, por ser esos lugares poco apropiados para colocar muebles que obstruirían el toma. Es de práctica que ningún ambiente, salvo los pasillos de circulación, quede sin un tomacorriente por lo menos. Y los ambientes principales, oficinas, halls, etc., deben tener varios.

Esquemas de conexiones

Para seguir avanzando en el desarrollo del proyecto de la instalación, necesita el instalador conocer la forma de conectar los centros a las llaves y a la red, a fin de saber el número de conductores que debe colocar en cada caño. Separaremos los distintos esquemas de conexiones en grupos corres-

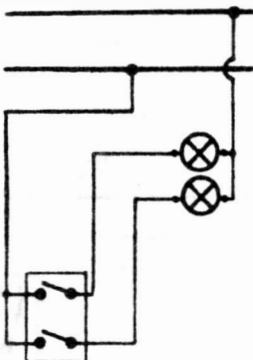


Fig. 130. - Conexión de un artefacto de dos efectos.

pondientes a centros de conexión en un efecto, en dos efectos, en tres efectos, tomas simples, dobles o combinados con llave de un efecto, y las distintas clases de combinaciones para comando múltiple de artefactos.

Las figuras 129 a 139 dan los esquemas completos para todos los casos comunes que se presentan en la práctica. Los centros están representados en ella mediante círculos cruzados, substituyendo en la realidad a una lámpara o grupo de lámparas de encendido simultáneo.

El esquema 129 corresponde a la simple conexión de una llave para encender o apagar una lámpara o grupo de lámparas, con su correspondiente conexión a la red. Observando el circuito se nota que la llave está conectada en serie con la lámpara, con lo que, al estar abiertos los contactos de la misma la lámpara permanecerá apagada; al correr la palanca se cierran los contactos de la llave

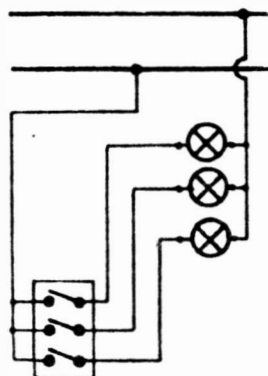


Fig. 131. - Conexión de un artefacto de tres efectos.

ve y se enciende la lámpara. El esquema debe interpretarse como que la línea y la lámpara están ubicadas en una caja de centro, y la llave en una caja rectangular unida con un caño a la anterior.

El esquema 130 da las conexiones para gobernar dos lámparas o grupos de lámparas mediante una llave de dos palancas. Las dos lámparas tienen un conductor común de unión a uno de los hilos de la red y los bornes libres van uno a cada llave; los otros extremos de las dos llaves se unen juntos al otro conductor de la red. En el caño que va de la caja octogonal del centro a la rectangular para la llave, deben bajar tres conductores.

El esquema 131 corresponde a la conexión de un artefacto de tres efectos. Se presenta en locales que llevan arañas decorativas, etc. La llave debe ser de tres palancas y se conecta en forma similar a la de dos palancas: se unen los tres bornes de

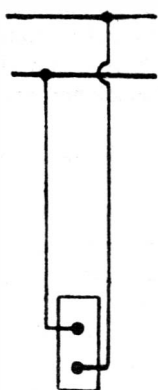


Fig. 132. - Conexión de un toma simple.

un lado de los tres grupos de lámparas y se conectan a la red; los otros tres bornes van uno a cada llave; los tres bornes libres de las llaves se conectan juntos al conductor que no se había conectado aún a la red. Por el caño bajan cuatro conductores de la caja centro a la llave.

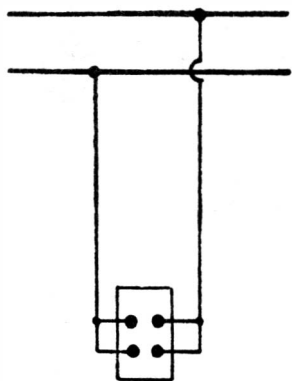


Fig. 133. - Conexión de un toma doble.

El esquema 132 se utiliza para conectar un tomacorriente, pudiendo verse en la figura que queda unido cada borne del toma a un conductor de la red. Por el caño bajan dos conductores. Lo mismo puede decirse del toma doble, al que solamente debe hacerse un puente entre cada par de bornes, siguiéndose en lo demás el esquema del toma simple (véase figura 133).

El esquema 134 corresponde a la conexión de una llave de una palanca, cuando debe ir colocado junto a ella un tomacorriente; puede utilizarse en estos casos un conjunto llave y toma, o una llave de una palanca separada y un toma simple,

pero el esquema de conexiones es común para ambos casos. Uno de los conductores que va a la llave procede directamente de la línea, de modo que para conectar el toma basta bajar un conductor unido al otro cable de la línea y hacer un puente entre el borne de línea de la llave y un borne del toma. El esquema es suficientemente claro sobre el particular y resalta de él que se economiza un conductor, puesto que para una llave simple se pasaban por el caño dos conductores, y para un toma simple también dos, mientras que para una llave con toma se pasan tres, tal como se ve en la figura.

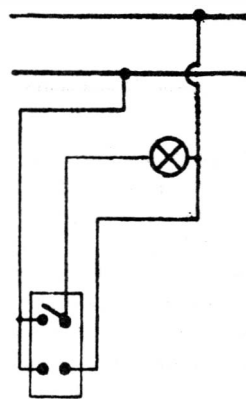


Fig. 134. - Conexión de una llave y toma.

El esquema 135 muestra la conexión de dos llaves de combinación con un centro, para encenderlo o apagarlo desde dos lugares distintos. Las llaves tienen un borne, diferenciado mediante distinto color del tornillo o una marca especial y que es el borne inferior de las mismas en la figura; él debe ser unido a línea para una llave y al artefacto para

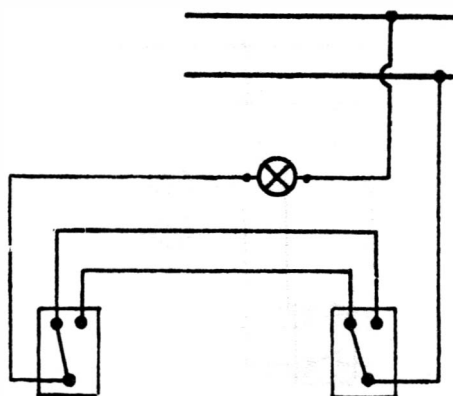


Fig. 135. - Combinación de dos llaves.

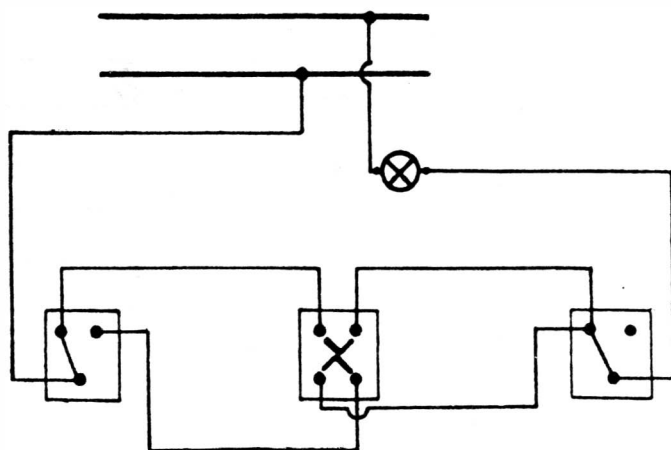


Fig. 136. - Combinación de tres llaves

la otra; el borne libre del artefacto se conecta al otro conductor de la línea. Los dos bornes restantes de cada llave se unen entre sí con dos conductores, tal como se ve en la figura. Como la posición de las llaves es caprichosa en el ambiente, casi puede afirmarse que no podrá, salvo raras excepciones, colocarse un caño directo entre llave y llave sin pasar por la caja de centro, sin perjudicar la economía de la instalación; habrá que colocar en esos casos un caño de bajada para cada llave y colocar en el interior de cada uno tres conductores, dos de los cuales pasan por la caja de centro sin ser cortados, y unen directamente los pares de bornes análogos de las llaves.

El esquema 136 es un poco complicado pues necesita algún material que sale del más común para instalaciones simples. Se trata de la combinación múltiple llamada *de escaleras*, y se utiliza para gobernar un centro, o grupo de centros conectados en paralelo desde varias llaves (más de dos, porque sino se emplea la combinación simple). En la figura se han representado tres llaves, pero no hay nin-

guna dificultad en extenderlo a un número mayor, repitiendo las conexiones cruzadas de la llave central tantas veces como sea necesario. Las llaves extremas son del tipo de combinación simple, y la central, o todas las centrales si hubiera más de tres puntos de comando, son llaves especiales, llamadas *de cuatro vías*, estando construidas como conmutadoras rotativas bipolares o a palanca. Siguiendo las conexiones de la figura, se ve que se puede encender o apagar la lámpara desde cualquier llave. De la figura se deduce que a cada llave extrema deben bajar tres conductores y a cada una de las centrales deben bajar cuatro cables, habiendo siempre dos cables directos entre cada dos llaves. A título informativo, se da en la Fig. 137 el esquema para un número mayor de llaves y lámparas, como sería el caso de una escalera de un edificio de varios pisos.

En este caso puede resultar conveniente el colocar cañerías directamente entre llave y llave, si están colocadas en el edificio en la misma posición en cada piso, bastando entonces bajar un caño ver-

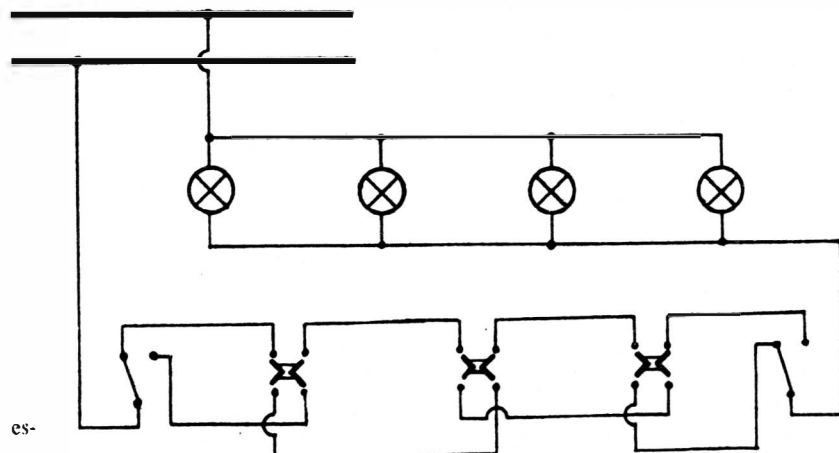


Fig. 137. - Combinación de escaleras.

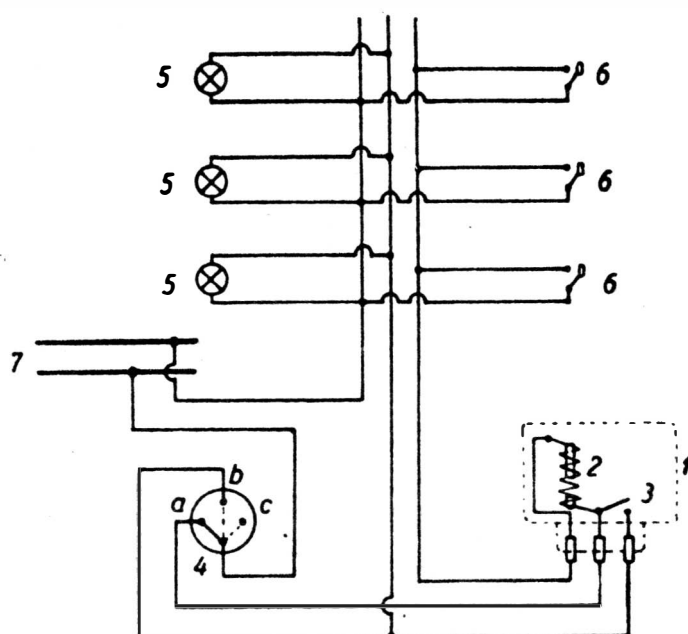


Fig. 138. - Combinación automática para escaleras.

tical que pase por todas las cajas de llaves; de llave a llave irán dos conductores. Para los centros hacen falta dos conductores independientes, que pongan a todos los centros en paralelo. Pueden unirse directamente mediante una cañería única, si se trata de brazos en la pared, pero si son centros ubicados en los descansos de piso puede resultar complicado, siendo a veces conveniente utilizar la misma cañería que se coloca para las llaves, aumentado su diámetro, y uniendo las cajas de centro con las llaves, mediante un caño delgado por el que pasarán dos conductores. Por la cañería que une las distintas cajas de llaves se deben pasar cuatro conductores, dos para las llaves y dos para los centros. Insistiremos en el detalle de que todas las llaves que no son las extremas son del tipo denominado de *cuatro vías*, es decir conmutadoras de dos ramas.

Actualmente se prefiere para la iluminación de escaleras, pasillos, etc., un sistema distinto, porque el anterior tiene el inconveniente que durante la noche se dejaba frecuentemente encendida toda la luz general de escaleras por descuido del usuario. Se utiliza entonces un relay de tiempo durante la noche, que se desconecta durante las horas del crepúsculo, en que la luz debe permanecer encendida permanentemente y se interrumpe el circuito definitivamente durante el día. La Fig. 138 muestra el esquema completo con el dispositivo mencionado, que está contenido en una caja y tiene un par de contactos (3) que permanecen normalmente abiertos, cerrándose sólo cuando el electroimán

(2) atrae su armadura. El funcionamiento es el siguiente:

Durante el día el conmutador (4) está en la posición (c), con lo que todas las lámparas quedan fuera de circuito, puesto que uno de los bornes de la línea queda sin conexión. Al anochecer se corre la palanca del conmutador (4) a la posición (b), encendiéndose las lámparas (5), y quedando encendidas hasta la iniciación del servicio nocturno (hora 21, generalmente), para lo cual se corre el conmutador (4) a la posición (a) y queda en serie con las lámparas el interruptor (3). Al oprimir cualquiera de los pulsadores (6), ubicados en los distintos pisos o lugares del edificio, se cierra el circuito del electroimán, excitándose su bobina y actuando el mismo sobre la armadura, y ésta a su vez sobre la palanca del interruptor (3), con lo que se encienden todas las lámparas. Un mecanismo de relojería, un dispositivo térmico, magnético o de cualquier otra índole se encarga de abrir el interruptor (3) al cabo de cierto tiempo regulable (generalmente 2 o 3 minutos). El período en que deben permanecer encendidas las luces se calcula que debe ser suficiente para que una persona recorra todo el pasillo o escalera, de extremo a extremo, que es el caso más desfavorable.

Cuando el número de pulsadores a colocar es muy reducido (3 ó 4), hay que estudiar la conveniencia de colocar el sistema anterior, o botones automáticos individuales, que se encuentran en plaza, contruidos con dispositivo a resorte con retorno retardado regulable. Tales botones, se co-

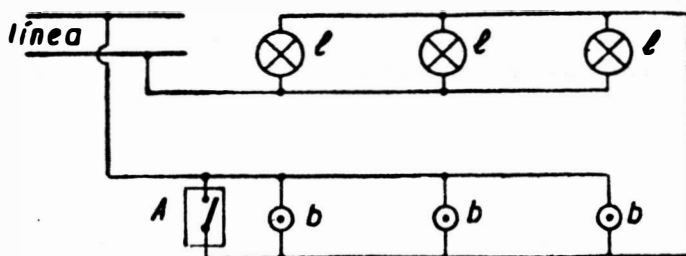


Fig. 139. — Alumbrado de escaleras con botones automáticos.

nectan como se ve en la figura 139 representados por los pequeños círculos (b). Durante el crepúsculo puede conectarse todas las lámparas mediante la llave A, que elimina a todos los botones de la serie, encendiéndolas (*I*) en forma permanente. Cuando se quiere que actúen los botones automáticos se abre la llave A, con lo que dichos pulsadores quedan conectados en serie con las lámparas, y sólo se encenderán éstas cuando se oprima alguno de aquéllos. La apertura del circuito, una vez apretado el botón del pulsador, se hace después de un intervalo regulable mediante un tornillo que tienen los pulsadores a ese objeto.

Disposición de la instalación

Con la breve reseña sobre esquemas de conexiones del párrafo anterior, está el proyectista en condiciones de trazar el recorrido de la instalación sobre el plano de planta del edificio, utilizando el mismo sobre el cual se han marcado las bocas. Si el techo es una losa de hormigón armado, se tratará de llevar la mayor parte de la cañería por ella, para economizar mano de obra y para evitar en lo posible las cajas de inspección en la pared por razones de estética.

En las instalaciones muy pequeñas de poca importancia como son los depósitos, sótanos, etc., se pueden conectar todos los centros en un solo circuito, a pesar que siempre resulta conveniente de disponer por lo menos de dos circuitos. En plantas con muchas bocas se agrupará a éstas en varios circuitos, siendo muy conveniente que los tomacorrientes tengan circuitos independientes de los centros. Para agrupar las bocas en circuitos pueden seguirse varios criterios: formar series de cierto número de centros o tomas, limitar la potencia del circuito, o dividir la instalación en pequeñas zonas a servir con cada circuito. Se seguirá uno u otro criterio según la costumbre del proyectista, según la importancia de la instalación, o según resulte de la contemplación de cada caso particular.

El criterio que fija un cierto número de bocas a servir por cada circuito aconseja limitar ese nú-

mero a 10 bocas, pero haciendo como mínimo dos circuitos si el número de bocas no supera esa cifra. El que limita la potencia para cada circuito fija cifras del orden de 1000 Watt, y exige una estimación previa de la potencia probable a instalar en cada recinto. El tercer criterio se apoya en la práctica del proyectista en asignar número de bocas y potencias probables a cada grupo de centros o tomas en relación con la importancia del ambiente, la simultaneidad de luces encendidas que los mismos puedan tener, y otra serie de consideraciones que sería largo enumerar, y que responden a planteos particulares que se resuelven por similitud con otras instalaciones bien ejecutadas. De

Potencias medidas en Watt de aparatos eléctricos domésticos

Aparato	Potencia en Watt
Aspirador de polvo	150 - 200
Batidores de cocina	60 - 100
Calentador eléctrico	400 - 600
Ducha instantánea	5000
Cocina eléctrica	4000 - 7000
Encerador eléctrico	100 - 200
Estufas	500 - 1000
Hervidores y cacerolas	500
Lámparas portátiles	50 - 100
Máquina de coser	75
Máquina de lavar	200
Máquina de planchar	1200 - 1500
Máquinas de cocina	100 - 200
Planchas	500 - 800
Receptores de radio	60 - 100
Refrigerador doméstico	100 - 200
Reloj eléctrico	3 - 5
Rizador de cabello	25 - 50
Secador de cabello	500
Secador de ropa	500 - 2000
Tanque calefón	500 - 2000
Tostador de pan	500
Ventiladores	50 - 100

Capacidad de carga de conductores eléctricos

Sección de cobre en mm ²	A M P E R		
	Aislación de goma	Aislación de papel o cinta	Otras aislaciones
0,8	3	4	5
1,0	6	7	8
1,5	9	12	14
2,0	14	18	20
2,5	15	20	22
3,0	20	23	25
4,0	22	25	30
6,0	30	30	40
8,0	35	40	50
10,0	40	50	60
15,0	53	60	70
16,0	55	65	80
20,0	65	85	90
25,0	75	95	100
35,0	95	110	125
40,0	105	120	150
50,0	120	150	200
70,0	155	180	225
90,0	185	210	275
100,0	200	250	305
120,0	235	290	350
150,0	270	330	400
200,0	350	390	500

Para estimar "a priori", la potencia a instalar en cada ambiente, se pueden agrupar los distintos tipos de habitaciones o recintos en categorías y tipos distintos, fijando una cifra de potencia probable por unidad de superficie cubierta, es decir un número de Watt por metro cuadrado. El cálculo de la potencia total se hace multiplicando la cifra básica por la superficie del local. Para los tomacorrientes también pueden establecerse categorías, según el uso a que está destinado el recinto y el tipo de edificación, lo que permite presuponer la clase de artefactos que se conectará a los mismos.

Para el trazado de la instalación, una vez que se han dividido los circuitos, se deben seguir recorridos lo más cortos posibles, y en línea recta entre centro y centro. La figura 140 muestra un trazado típico, en el que han empleado los símbolos más usuales, es decir un círculo para los centros y un arco para los tomas. En la figura se observará que se han fijado las secciones de los conductores y el diámetro de las cañerías. Veamos cómo se determinan esos dos datos.

Para determinar la sección del conductor hay que partir de una base, y esa es la intensidad de la corriente que circula por la línea. Generalmente se conoce la potencia eléctrica que cargará ca-

da circuito, y ya sabemos que dividiéndola por la tensión nos da la intensidad de la corriente. Entrando con ella a la tabla adjunta, en la columna que corresponda al tipo de conductores utilizados, se encuentra en la primer columna el conductor que corresponde utilizar.

Para las cañerías, deben adoptarse diámetros en concordancia con la cantidad de conductores y el diámetro de los mismos. Los comunes son de 12,7, 15,3, 22,2 y 25,4 mm de diámetro interior.

Tableros

Una vez trazada la instalación, fijados diámetro de cañerías y sección de conductores, hay que hacer el esquema de los tableros. El tablero debe permitir sacar de servicio cualquier circuito para hacer reparaciones o renovaciones de manera que cada circuito tendrá su interruptor o fusibles. A fin de que se pueda hacer el recambio de fusibles sin peligro, éstos se colocan después de los interruptores. Cuando se debe cambiar un fusible se abre el interruptor.

La figura 141 muestra un tablero simple, seccional, con tres circuitos y sin interruptor general, ya sea porque proviene de un tablero principal que lo tiene o por otras razones. Nótese las conexiones internas del tablero entre sus distintos elementos. A la derecha figura el croquis real y a la izquierda el esquema teórico.

La figura 142 muestra un tablero algo más completo, incluyendo el medidor eléctrico, el interruptor y fusibles generales y un ramal que alimenta a un tablero secundario de tres circuitos. Del tablero principal salen tres circuitos individuales.

También en este caso se presenta el esquema teórico, a la izquierda, y el croquis de conjunto a la derecha. Nótese las dos rayitas que atraviesan las líneas del esquema teórico que indican que se trata de dos conductores, pues las líneas son bifilares en todos los casos. Los fusibles se dibujan en forma simbólica, de acuerdo a normas que se han establecido al respecto.

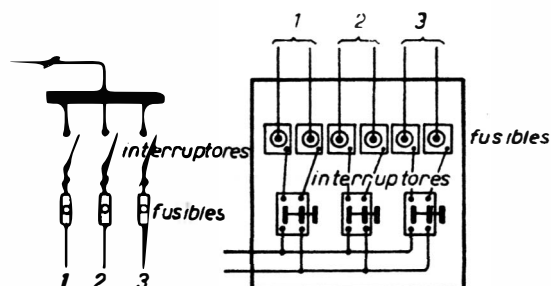


Fig. 141. — Esquema y disposición de un tablero simple.

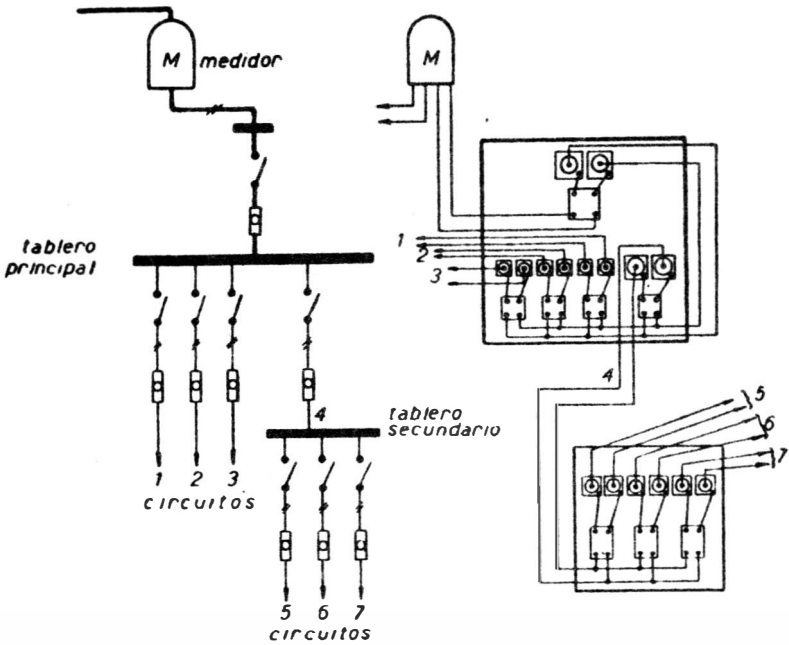


Fig. 142. - Esquema y disposición de un tablero general.

Diámetros de alambres fusibles

Alambre fusible de plata		Alambre fusible de plomo	
Amper	Diámetro mm	Amper	Diámetro mm
2	0,10	0,5	0,25
3	0,15	1	0,30
5	0,18	3	0,50
10	0,25	6	0,80
15	0,35	10	1,00
20	0,50	15	1,25
25	0,60	20	1,50
30	0,65	25	2,00
35	0,70	30	2,25
40	0,80	35	2,50
50	0,90	40	2,75
60	1,00	50	3,00
70	1,05	60	3,25
80	1,10	80	3,50
100	1,45	100	4,00

Los fusibles pueden ser de cápsula cerrada, con especificación exterior de su capacidad en Amper, o con alambre recambiable. Conviene conocer, en este segundo caso, el diámetro que corresponde a cada intensidad nominal para efectuar el recambio cuando se funde. La tabla adjunta da las características para los dos tipos de alambres fusibles más usados.

Los interruptores serán adquiridos para la misma intensidad nominal que los fusibles, y pueden ser del tipo rotativo o a palanca. Todos los inte-

ruptores que se coloquen en un tablero deben ser bipolares, a fin de asegurarse de que al abrirlos los dos conductores queden sin tensión.

La sección de los conductores que van de tablero a tablero debe determinarse de acuerdo con la intensidad de corriente que circulará. Si se tratara de distancias muy grandes, más de 20 metros, conviene verificar la sección del conductor de acuerdo con el criterio que veremos en las instalaciones de fuerza motriz, las que presentan el problema de la distancia con más frecuencia. En la tabla que se da allí se encuentran las secciones corregidas para líneas largas, según la carga que se conecta al extremo.

Consideraciones adicionales

Al tratar las instalaciones eléctricas de iluminación se han mencionado las más comunes, sin agregados novedosos o dispositivos sofisticados que se encuentran actualmente en el comercio del ramo.

Un ejemplo aclarará el sentido de la frase precedente: hace un tiempo se han difundido unos dispositivos protectores para evitar descargas a tierra a través de una persona. Son aparatos que pueden englobarse entre los interruptores generales de la instalación y se conectan en la misma forma que éstos, pero interrumpen el circuito general cuando se produce una pequeña descarga a tierra; como su actuación es inmediata, se protege con ello la

vida de las personas que puedan llegar accidentalmente a cables o puntos de la instalación que tienen tensión contra tierra. Es de imaginar que este aparato está especialmente indicado para los niños pequeños. En los folletos se indican las conexiones a realizar.

Otro tipo de aparato que no ha sido mencionado es el elevador de tensión, que se emplea para mantener la tensión de la línea en valores próximos a los 220 Volts nominales. En esencia son transformadores con topes a efecto de poder regular la tensión en la instalación. Para saber el valor

obtenido hay elevadores que están provistos de un voltímetro y otros de una simple campanilla que avisa cuando la tensión sobrepasa el valor normal. Estos dispositivos se conectan intercalados con la sección de la línea que se desea mantener con tensión normal. Generalmente esto ocurre con las conexiones de heladeras, televisores, etc.

Y así podríamos seguir mencionando otros dispositivos aplicables a las instalaciones eléctricas domiciliarias, pero nunca la lista estaría completa, porque siguen apareciendo novedades en esta época de progreso permanente.

Día 12

El segundo grupo de instalaciones eléctricas que hemos proyectado abordar es el de las campanillas en todas sus variantes, es decir tanto las que se usan para llamadas como para alarma y otros fines. Estas instalaciones abarcan desde las más simples que tiene una casa modesta, o sea un timbre en la puerta de calle y una campanilla en el interior de la casa, hasta las que vemos en las oficinas, con pulsadores en todas las salas y cuadros indicadores para identificar al pulsador que efectuó la llamada. Hay instalaciones para clínicas con anulación de la indicación de llamada en el mismo lugar donde se efectuó la misma para asegurar la concurrencia del personal a atender al paciente y en fin muchas variantes que serán tratadas o, si son similares a las que encaremos, las dejaremos para el lector curioso, ya que no valdría la pena el extender el tema para repetir cosas ya vistas. Recordemos de paso que la campanilla en sí es un dispositivo electromagnético y por lo tanto su funcionamiento se basa en la teoría desarrollada en el capítulo 3, el cual deberá ser repasado si fuera necesario. Bien, con lo dicho ya podemos abordar el tema propuesto para la presente jornada.

INSTALACIONES DE LLAMADA

Las instalaciones con campanillas se utilizan para llamar a las puertas de entrada de residencias, para avisar a la servidumbre, para anunciar comienzos o fines de jornadas de trabajo en establecimientos comerciales o industriales, para denunciar la presencia de intrusos y para todos los casos en que se quiera hacer conocer un suceso cualquiera a una persona o grupo de personas, llamando la atención de ellas mediante un sonido conocido. Otras formas de lograr el mismo objeto, como son las señales luminosas, parlantes, etc., escapan del tema de esta publicación.

Los materiales que se emplean en instalaciones de esta índole son las campanillas propiamente dichas, los pulsadores y perillas, los tomas y contactos de piso, las pilas y transformadores, los cuadros indicadores, los contactos de puerta, los conductores, cañerías y accesorios, las cajas y tacos, las rosetas y una serie de elementos que sirven para enlazar entre sí a los implementos anteriores.

Se da a continuación una descripción de cada uno de los materiales mencionados, indicando el uso y funcionamiento de los mismos, a fin de facilitar al lector elementos de juicio para penetrar

en los temas posteriores, con pleno conocimiento de cada parte de que se compone la instalación.

Campanillas

Las *campanillas* son los elementos activos de la instalación, pues proporcionan el sonido necesario para llamar la atención de la, o las personas indicadas. La figura 143 representa esquemáticamente el principio de funcionamiento, que es el siguiente:

La campanilla en sí está compuesta de un electroimán de una o dos ramas (la de la figura tiene 2 ramas) cuya armadura está unida a una lámina elástica de acero fijada a un soporte; la posición normal de la lámina elástica es tal, que un brazo de ella que tiene un contacto de bronce toca en el extremo del tomillo de regulación, haciendo contacto con él. El circuito eléctrico entre los bornes superiores está cerrado, es decir, que hay continuidad desde un borne hasta el otro, pasando por el electroimán, el soporte, la lámina, el contacto, el tomillo y llegando finalmente al otro borne.

El circuito exterior comprende una batería

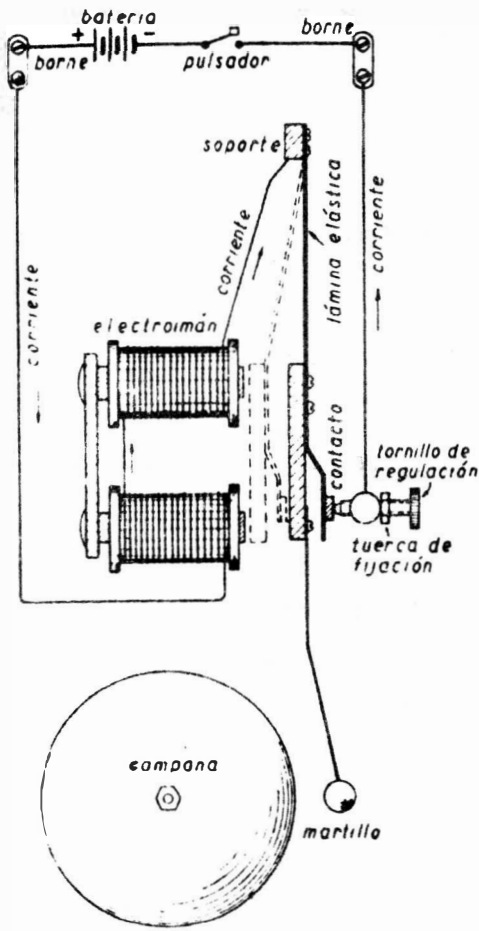


Fig. 143. - Esquema de una campanilla.

de pilas (o más comunmente un transformador) y un pulsador, que no es más que un par de contactos elásticos que cierran el circüito al oprimir el botón de que está provisto. Al cerrar el circuito con el pulsador circula corriente por el electroimán de modo que se formará un campo magnético que atraerá la armadura hacia el núcleo del electroimán, colocándose la misma en la posición dibujada punteada en la figura. La atracción brusca de la armadura hace que el martillo dé un golpe sobre la campana, produciendo un sonido corto. Pero observando la figura se ve que en cuanto la armadura es atraída, se abre el contacto y se interrumpe la corriente en el circuito, con lo que cesa la producción del campo magnético y el electroimán dejará de hacer fuerza de atracción sobre la armadura, la que por acción de la lámina elástica vuelve a su posición primitiva, separando al martillo de la campana.

Al volver la armadura a su sitio anterior se cie-

rra nuevamente el contacto, circulará la corriente nuevamente por el electroimán, éste atraerá a la armadura y se producirá otro golpe del martillo sobre la campana, cortándose la corriente de nuevo y así sucesivamente se repite el ciclo con rapidez. La cantidad de golpes del martillo sobre la campana es de 30 a 50 por segundo, de modo que el sonido obtenido parece continuo.

La tuerca de fijación permite ajustar una posición del tornillo que produzca el sonido más estridente, pues variando la carrera, o sea la distancia que debe recorrer la armadura durante un ciclo completo del fenómeno, se varía la rapidez del martilleo consiguiéndose un punto de funcionamiento óptimo. Una vez obtenido ese punto se ajusta la tuerca, y el tornillo queda fijo.

Las campanillas se adquieren en el comercio dotadas de dos bornes para su conexión al circuito exterior, que en la Figura 143 están indicados en la parte superior. El electroimán está encerrado en una caja de madera o metal y actualmente de bakelita, quedando exteriormente à la misma el martillo y la campana.

Las campanillas para corriente alternada no necesitan martillo interruptor y se construyen según el dibujo de la figura 144. Funcionan por vibración mecánica de la lámina elástica que está sometida a un campo magnético variable de 50 c/s.

Cuadros indicadores

Cuando en un edificio hay varios pulsadores y debe identificarse al que ha llamado se utilizan dispositivos que permiten obtener persistencia de la llamada, es decir que aunque deje de sonar la campanilla queda indicado un símbolo que correspon-

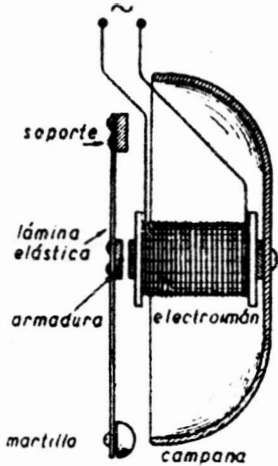


Fig. 144. - Campanilla para corriente alternada.

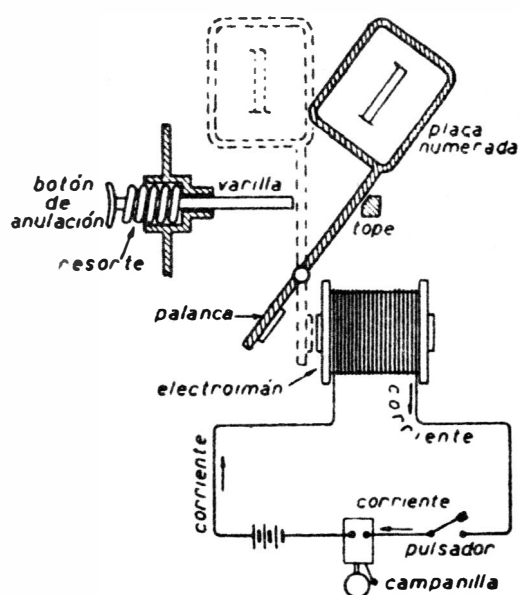


Fig. 145. — Principio de funcionamiento de un cuadro indicador.

de al llamador que actuó. Estos dispositivos se denominan *cuadros indicadores* y su funcionamiento es muy simple. Para explicarlo remitimos al lector a la figura 145 que ilustra un elemento de un cuadro indicador de brazo móvil.

El circuito exterior comprende la pila o el transformador, según el caso, la campanilla y el pulsador; al oprimir este último suena la campanilla, pero al mismo tiempo circula corriente por el bobinado del electroimán. La palanca con la placa numerada en su extremo está en reposo, apoyada en un tope. Al ser excitado el electroimán será atraída la armadura del mismo que está fija a la palanca, y que pasará a ocupar la posición indicada punteada en la figura, llevado el número a una posición que está detrás de una ventana del frente y que por lo tanto permitirá verlo desde el exterior. Si ahora soltamos el pulsador la campanilla dejará de sonar, pero la palanca quedará en su nueva posición, porque el peso de la placa numerada impide que vuelva a su sitio primitivo.

Para anular la llamada cuando la persona encargada la ha atendido, basta oprimir el botón de anulación, venciendo la resistencia del resorte con lo que la varilla empujará a la palanca haciéndola caer sobre el tope.

Esquemas de conexiones

Para proyectar la instalación hay que conocer previamente los esquemas de conexiones a fin de computar correctamente los materiales que entran en juego, así como el número de conductores para unir entre sí los diversos elementos. La cantidad de pulsadores y de campanillas necesarias está fijada de antemano. Si la red es de corriente alterna, que lo es generalmente, se utilizará alimentación a transformador, salvo especificación en contrario como podría ser el caso de instalaciones de alarma o seguridad, en las que no se puede admitir que la falta de tensión en la red comprometa el servicio. Si no se dispone de corriente alterna, o si no se desea hacer uso de ella, se alimentará el circuito de campanilla mediante una serie de pilas, de modo que la tensión total de la batería supere ligeramente la tensión nominal indicada para el funcionamiento normal de aquella.

A continuación haremos una reseña de los esquemas de conexiones más comunes para circuitos de llamada, los que pueden extenderse, sin ninguna variación, a las instalaciones de alarma, puesto que la única diferencia estará en los pulsadores, que serán del tipo de puerta o de paso en lugar de los modelos accionados a mano. El proyectista no tendrá ninguna dificultad en asimilar los circuitos ilustrados a otros tipos de instalaciones que no sean exactamente de llamada, salvo las aclaraciones que se harán oportunamente.

Para conectar una sola campanilla que, a su vez debe ser accionada desde un solo lugar, como es el caso de la llamada de puerta de calle, etc., se siguen las conexiones de la figura 146. Se ha representado alimentación a pilas, y se puede ver en la figura que se utilizaban tres pilas. El motivo es el siguiente: las campanillas más comunes se construyen para trabajar con tensiones de alrededor de 4 Volt, y como las pilas secas comunes suminis-

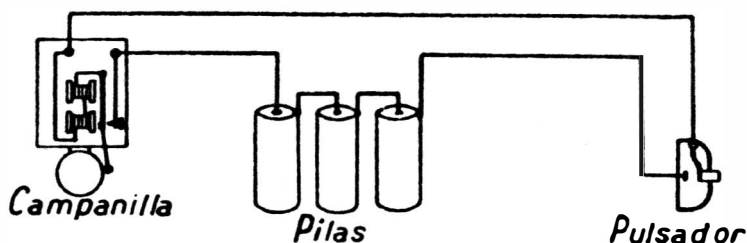


Fig. 146. — Esquema de una campanilla con un solo pulsador, alimentado a pilas.

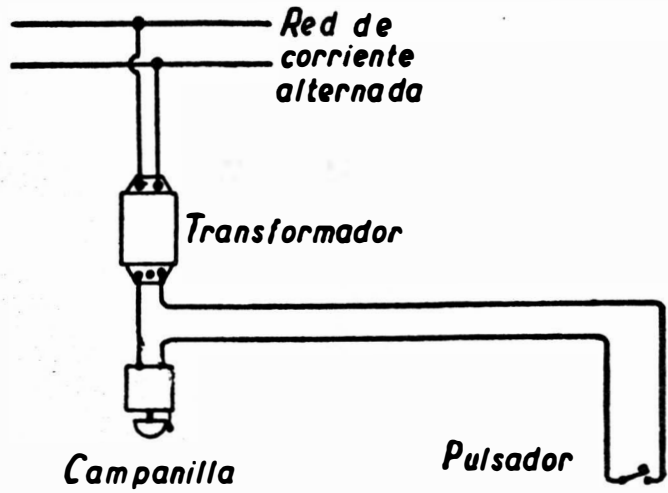


Fig. 147. - Esquema de una campanilla alimentada a transformador.

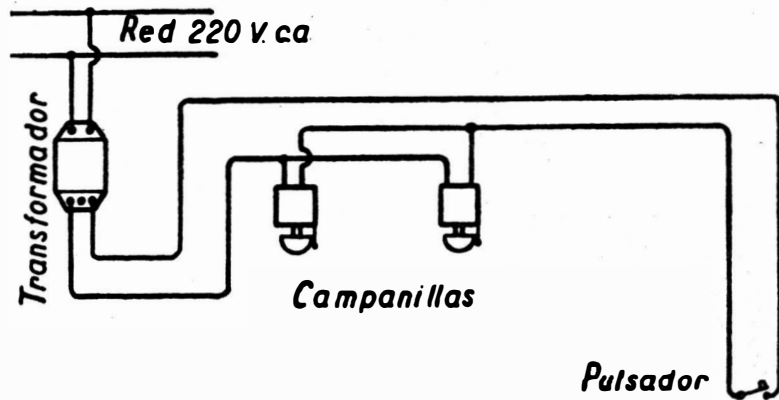


Fig. 148. - Dos campanillas con un solo botón.

tran 1,5 Volt, se necesitarán tres de ellas en serie para obtener 4,5 Volt, de acuerdo con las reglas formales de la Electrotecnia. Para conectarlas en serie se siguen las indicaciones de la figura, es decir se une el borne central de una con el borne lateral

de la otra y así sucesivamente, dejando libres para conectar la batería al circuito un borne central de una pila extrema y un borne lateral de la pila del otro extremo. Si la campanilla trabaja con distinta tensión que no sea 4 Volt, y difiere mucho de esta

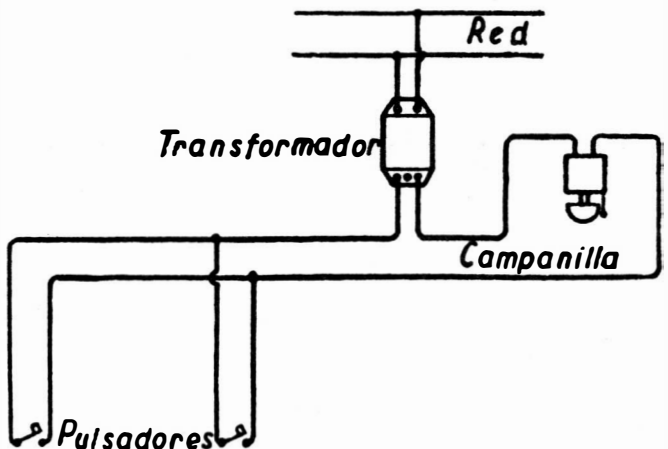


Fig. 149. - Una campanilla con dos botones.

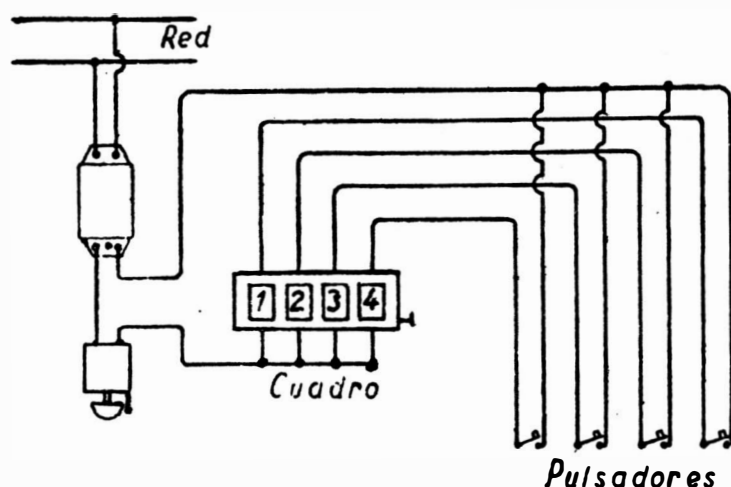


Fig. 150. — Conexión de un cuadro indicador.

cifra, se deberán conectar distinto número de pilas hasta totalizar una tensión que supere ligeramente a la nominal de la campanilla. Debe superarla para compensar las caídas de tensión de la línea que va al pulsador, si ésta está muy distante.

La figura 147 da el esquema de conexiones para una campanilla simple, accionada desde un solo lugar, es decir que es el mismo caso del párrafo anterior, pero con alimentación desde la red de corriente alternada a través de un transformador reductor.

Veamos ahora unas combinaciones que se hacen comúnmente con campanillas, pulsadores y cuadros indicadores. La figura 148 muestra cómo se conectan dos campanillas accionadas desde un único pulsador, para los casos en que la llamada debe hacerse oír en distintos lugares al mismo tiempo. Cualquiera que sea el número de campanillas, se conectan todas en paralelo.

Otro caso muy común es el de instalar varios pulsadores que deben accionar una única campanilla. La figura 149 da el esquema de conexiones a

seguir, y se ve que todos los pulsadores quedan en paralelo entre sí; cualquiera que se oprima cierra el circuito, y hará sonar la campanilla.

En el caso que la instalación lleve cuadro indicador para individualizar al pulsador que llamó, se siguen las conexiones indicadas en la figura 150. Se ve que cada pulsador queda en serie con una sección del cuadro, de manera que a cada uno de aquéllos corresponde un número indicativo de la llamada. El que atienda la llamada debe anular la indicación del cuadro al cumplirla, para que quede en condiciones de funcionar nuevamente.

Las instalaciones modernas de cuadros indicadores, utilizan anulación remota, para evitar que se pueda anular la indicación del cuadro sin atender la llamada. El esquema para cada sección del cuadro indicador es el de la figura 151 y se ve que la anulación se hace con un segundo electroimán colocado frente al principal. El pulsador de anulación se coloca junto al de llamada, para asegurarse que la persona encargada de atender deba ir hasta el lugar

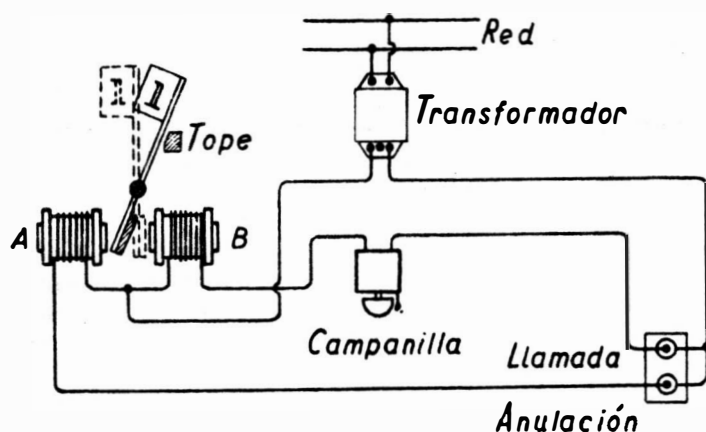


Fig. 151. — Cuadro indicador con anulación remota de llamada.

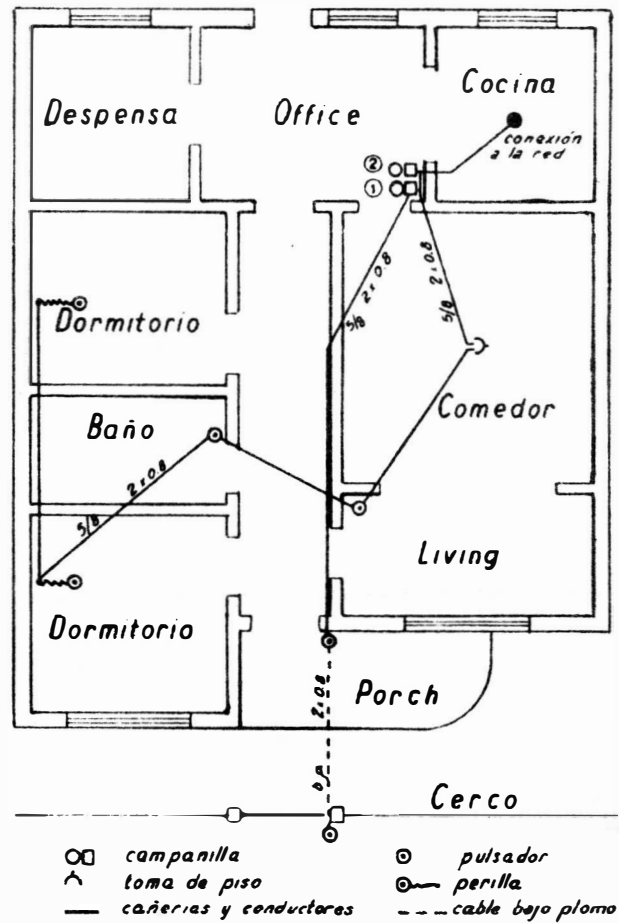


Fig. 152. - Plano de la instalación simple de campanillas.

que se llamó para anular la llamada. En la figura, A es el electroimán de anulación y B el de indicación en el cuadro.

Disposición de la instalación

Los montajes más comunes en instalaciones modernas son los que tienen varios pulsadores para cada campanilla. Generalmente hay varios circuitos de ese tipo cargados a un mismo transformador.

En una casa común de tipo residencial habrá por lo menos dos circuitos: uno para llamada interna y otro para la puerta de calle. La figura 152 muestra la disposición de los distintos elementos, con la ubicación de los pulsadores, que se indican con un círculo con un pequeño punto en el centro. Las cañerías y conductores tienen indicadas las secciones y diámetros, en forma similar a lo que vimos para las instalaciones de iluminación. La conexión a la red se hace en cualquier lugar de la instalación de corriente alternada, pero conviene insertar un interruptor y fusibles, o por lo

menos estos últimos, para prevenir que una falla en la instalación de campanillas afecte a la instalación de alumbrado. En la figura la conexión a la red se ha hecho en la caja centro de la cocina.

Instalación con anulación remota

Las instalaciones con cuadro indicador sólo difieren de la que hemos presentado en la colocación de tal implemento y en la cantidad de conductores que van al tablero central. También resulta interesante contemplar el caso en que se desea hacer la anulación remota de llamadas, porque varía nuevamente el número de conductores a emplear. Todo esto puede notarse en los esquemas que ya hemos visto para cada caso.

Las instalaciones de campanillas con anulación remota de llamada, como se puede recordar, consisten en cuadros indicadores cuyas indicaciones no se pueden anular en el cuadro mismo, sino que se debe oprimir un pulsador ubicado cerca del que llamó. Habrá en cada ambiente un par de pulsado-

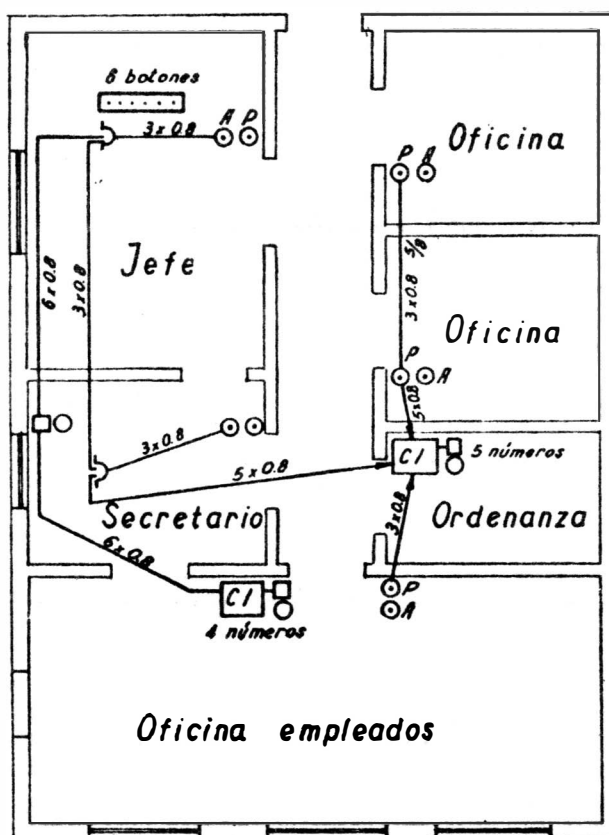


Fig. 153. Instalación de campanillas con anulación remota de llamadas y botonera múltiple.

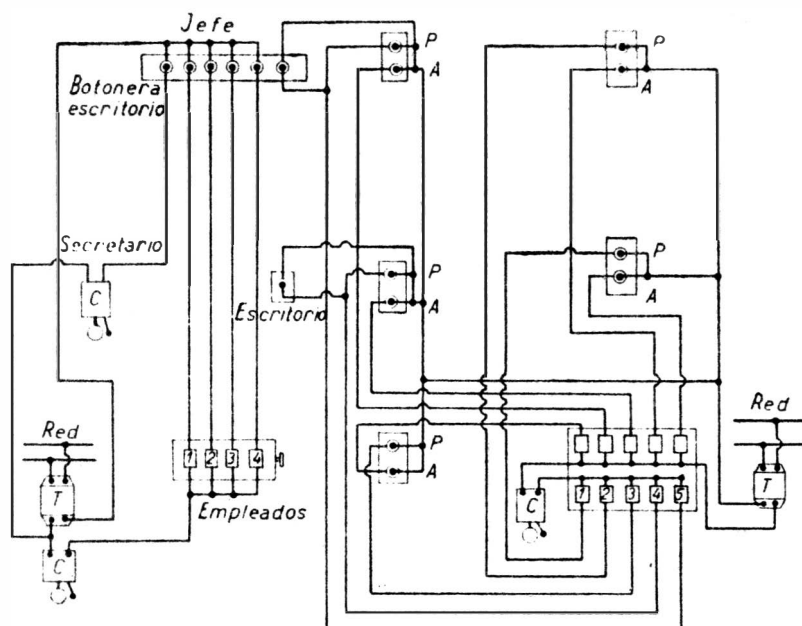


Fig. 154. Esquema completo de la instalación de la figura 153.

res juntos, uno para llamada y otro para anulación de la misma. En la figura 153 aparecen una serie de oficinas con los dos pulsadores mencionados, habiéndose marcado con la letra *P* a los de llamada y con la *A* a los de anulación. Para las conexiones a seguir, véase la figura 154 que da el esquema de conexiones para cada sección del cuadro, y en la que puede verse que a cada pulsador van tres conductores, uno de los cuales es común a todos, puesto que va a un borne del transformador o batería.

En la oficina del jefe y del secretario se han instalado pulsadores-tomas de piso a fin de conectar pulsadores de escritorio, de modo que la línea de llamada de cada uno de estos ambientes tendrá dos pulsadores en paralelo, por lo que conviene unir directamente en cada ambiente el pulsador de pared con el de piso. El cuadro indicador sin botón de anulación está ubicado en el cuarto de ordenanzas, junto con una campanilla, y a él convergen las tres líneas múltiples que vienen de los distintos ambientes.

Veamos cada línea de éstas cuántos conductores debe tener. La que viene de los dos escritorios aislados, que están ubicados sobre el cuarto de ordenanzas en el plano, tiene tres conductores en el tramo entre el pulsador de la oficina superior y la inferior, de acuerdo con el esquema de conexiones de la figura 151; desde el pulsador de la segunda oficina hasta el cuadro se deben pasar cinco conductores, dos individuales para cada oficina y un retorno general, común a ambas.

La línea que viene de la oficina de empleados tendrá tres conductores solamente, uno para el retorno común, uno para el botón de llamada y otro para el de anulación.

La línea que viene de las oficinas del jefe y el secretario tiene tres conductores entre el pulsador de pared de la oficina "jefe" y el toma de piso, siguiendo los mismos tres conductores después de haber conectado un pulsador de la botonera de escritorio, en paralelo con el pulsador de llamada de la pared, sin conectar un botón de anulación en el escritorio, pues la anulación de llamadas hechas con el pulsador de pared o con el de escritorio, se hace desde el botón instalado en la pared, al lado del de llamada. Se llega así al toma de piso de la oficina del "secretario", que también tiene un botón de llamada en la pared y otro sobre el escritorio. Desde la pared hasta el toma del piso irán tres conductores, y desde este último hasta el cuadro de ordenanzas irán cinco conductores, dos correspondientes a los botones de llamada y al de anulación de la oficina del jefe, dos para los mismos botones de la oficina del secretario y uno que es el retorno general al transformador. Los números colocados en la figura 153 indican la cantidad de conductores y la sección de los mismos en mm^2 .

De modo que se han ubicado los diversos implementos, fijado el número de conductores y sólo falta determinar el diámetro necesario de la cañería, que para este caso será toda de 15,3 mm, puesto que el número de conductores es reducido en cada tramo. Con esto queda terminado el trazado de la instalación.

Día 13

La tercera parte del tema sobre instalaciones eléctricas está dedicado a las denominadas de fuerza motriz, que en esencia son las que tienen motores eléctricos de cierta potencia, digamos a partir de un caballo (1 C.V. o también, como es común aunque no muy correcto, 1 H.P.). Estas instalaciones se caracterizan por el hecho de que los cables con que se las realiza son generalmente de mayor sección que los empleados en las instalaciones de iluminación o de llamada y las llaves de maniobra son más grandes y robustas, ya que deben cortar corrientes de mayor intensidad. Desde que las instalaciones que consideraremos contienen generalmente motores eléctricos, es importante analizar los esquemas de conexión de los diversos tipos, si bien algo de ello fue visto cuando tratamos el funcionamiento de tales motores. Pero ocurre que los circuitos usados para la explicación del funcionamiento no tienen la misma apariencia que los de las instalaciones, porque los primeros sirven para ver como se interconectan entre sí las diversas partes del motor, mientras que los que veremos ahora sirven para realizar la conexión de los motores a la instalación general y adquieren importancia los interruptores, reguladores y otros accesorios. Ya estamos entonces en condiciones de abordar el tema fijado para la presente jornada y lo haremos sin dilaciones.

INSTALACIONES DE FUERZA MOTRIZ

En el capítulo 4 se vieron los motores de corriente continua y en el 7 los de alternada. Ya sabemos entonces cómo funcionan, restando ahora tratar los esquemas prácticos de conexiones. Casi todas las llamadas instalaciones de fuerza motriz se refieren a la conexión de motores de una u otra clase de corriente, con los dispositivos de conexión, regulación, arranque, etc.

La disposición de la instalación, materiales, cañerías y conductores será muy parecida a la que vimos para las instalaciones de iluminación, salvo en el detalle de que casi siempre se tendrá aquí mayor potencia por circuito, tableros individuales para cada motor y algunas novedades en lo que respecta al cálculo de los conductores. Comencemos ordenadamente por los motores de corriente continua, para pasar después a los de alternada.

Motores de corriente continua

Si se conecta directamente un motor de continua a la red encontraremos que la corriente de circulación será muy elevada, porque la resis-

cia del bobinado del rotor es muy pequeña y al aplicarle la tensión de la red se tendrá una corriente muy grande. No hay más que aplicar la ley de Ohm para comprobarlo. Una vez que el motor está en marcha engendra una f. e. m. contraria a la tensión aplicada, que reduce esa corriente a valores aceptables.

El problema entonces consiste en reducir la corriente durante el período breve del arranque, pues después no hace falta. Hay que conectar un reóstato en serie con el inducido, que se va eliminando gradualmente a medida que el motor cobra velocidad, y que finalmente queda fuera de circuito. Pero ese reóstato no debe quedar intercalado en serie también con el inductor porque se debilitaría el flujo magnético, y sabemos que se reduciría notablemente la cupla de arranque. Por esta razón el reóstato debe quedar en serie con el rotor, pero no con el inductor.

Veamos algunos esquemas de conexiones para los motores más comunes, incluyendo el reóstato y los circuitos del inducido y el inductor.

Un motor con excitación en serie se conecta co-

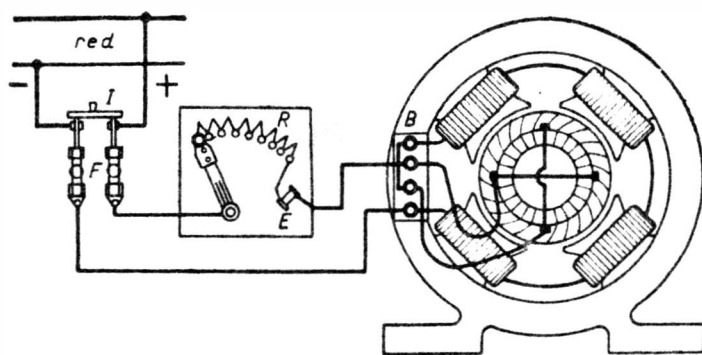


Fig. 155. — Conexiones de un motor de corriente continua con excitación en serie

mo ilustra la figura 155. Se nota que se ha elegido uno de cuatro polos para hacer más general el modelo. El interruptor general I está conectado directamente a la línea; siguen dos fusibles y de allí vamos al motor, pasando por el reóstato a topes. Una manija se desliza sobre los topes y va elimi-

que la retenga el electroimán, pero para ello debe pasar corriente por él o sea que el motor debe estar funcionando.

En el caso del motor serie no se contempla la conexión directa del campo antes del reóstato, pues la corriente del inductor es la misma del in-

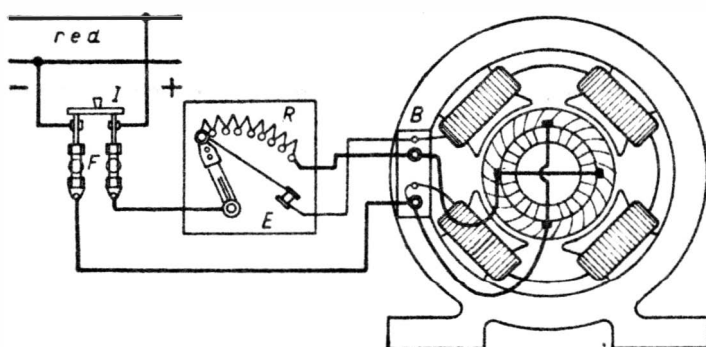


Fig. 156. — Conexiones de un motor de corriente continua con excitación en derivación.

nando resistencia gradualmente. E es un electroimán que retiene la manija en la posición final hasta que se abra la llave general. Evita así que por olvido se deje la manija del reóstato en la posición final al desconectar el motor. A tal fin se construye el eje de esa manija con un resorte que la obliga a volver siempre a su punto inicial, salvo

ducido. La caja de bornes B permite hacer las conexiones en conjunto y todas en un block. Nótese la conexión de las escobillas del rotor y de los devanados de los inductores.

Un motor derivación se conecta como indica el esquema de la figura 156. Aquí hay que tener en cuenta lo dicho acerca de que el reóstato no debe

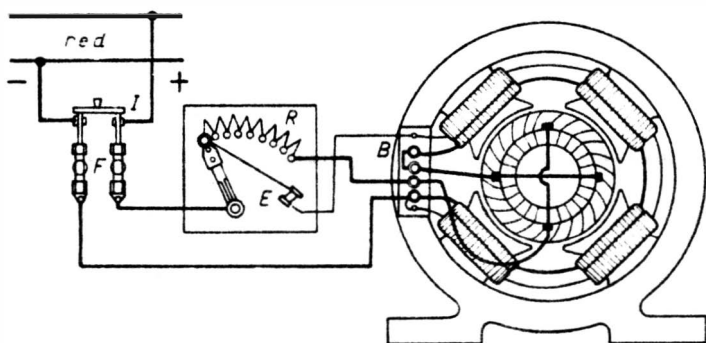


Fig. 157. — Conexiones de un motor de corriente continua con excitación compound.

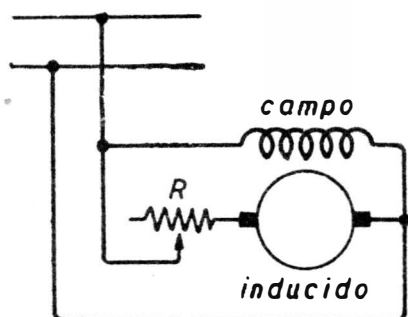


Fig. 158. — Conexión de un reóstato para reducir la velocidad.

quedar en serie con el inductor, y se ve en la figura que se cumple con tal condición. Además, como bajo ningún concepto un motor derivación debe quedar sin excitación, porque sabemos que al reducirse el flujo aumenta la velocidad y ésta llegaría a valores muy grandes que destruirían el bobinado por efecto de la fuerza centrífuga, se debe cuidar que al faltar la excitación se corra la manija del reóstato.

Si se observa la figura, se verá que eso se resuelve colocando el electroimán de retención de la manija en serie con el circuito de campo. De esta manera cuando falta la excitación o cuando se abre la llave general para parar el motor, el electroimán queda sin corriente y la manija vuelve a la posición inicial por acción del resorte.

La conexión de un motor compound se hace como se ve en la figura 157. Tenemos aquí tantos devanados inductores en serie con el inducido, como los que se hallan en paralelo con el mismo. Pero la conexión en la caja de bornes revela que se forman dos series de bobinados de campo y se conectan como indica la figura.

La conexión del electroimán de retención de la manija se hace como en los motores derivación, es decir en serie con el campo paralelo. Los demás detalles no difieren notablemente de los motores anteriores en lo que respecta a la conexión a la red, con interruptor bipolar, fusibles, etc.

Regulación de velocidad

Veamos finalmente como se regula la velocidad en los motores de corriente continua. Para reducir la velocidad de giro hay que disminuir la tensión aplicada, o aumentar las caídas, para lo cual se conecta un resistor en serie con el inducido, según se ve en la figura 158. El bobinado inductor no debe estar afectado por esa resistencia, de modo que debe conectarse directamente a la red. En el esque-

ma se han omitido los accesorios del tablero, para simplificarlo.

Para aumentar la velocidad hay que debilitar el flujo magnético, y para ello se conecta un resistor en serie con el inductor, según muestra la figura 159. Este esquema es para motores derivación, pues para los serie esa resistencia se debe conectar en paralelo con el inductor, pues en serie reduciría la corriente principal también y no se quiere tal cosa. Colocando un resistor en paralelo con el devanado del campo serie, la corriente principal del motor se reparte y sólo una fracción pasa por el campo, debilitándose el flujo y produciéndose el mismo efecto que con la resistencia serie de la figura 159.

Motores de corriente alterna

Ya sabemos que hay dos clases de motores de alternada que se han generalizado, pues los demás sólo se emplean raramente; los sincrónicos y los asincrónicos o de inducción. Veremos cómo se conecta cada uno de esos tipos y los diversos casos.

Los motores sincrónicos están provistos de una excitatriz acoplada al eje, que suministra la corriente continua para los campos inductores. La corriente de la excitatriz va a un par de escobillas que rozan con dos anillos, según se ve en la figura 160. El estator tiene el devanado de corriente alternada que se conectará a la red mediante intercalación de interruptor general y fusibles.

El esquema de la figura corresponde al caso común, que se hace arrancar al motor con un motor auxiliar de alternada que llevará al rotor a la velocidad de sincronismo, pudiéndose recién cerrar el interruptor tripolar. También puede usarse la excitatriz como motor de continua, para lo cual se debe disponer de una fuente auxiliar de esa clase de corriente. En tales casos se abre el interruptor del circuito de campo, se hace trabajar a la excitatriz como motor, conectándola a la

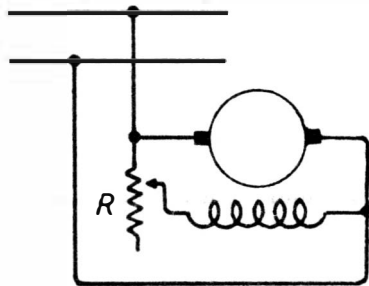


Fig. 159. — Conexión de un reóstato para aumentar la velocidad.

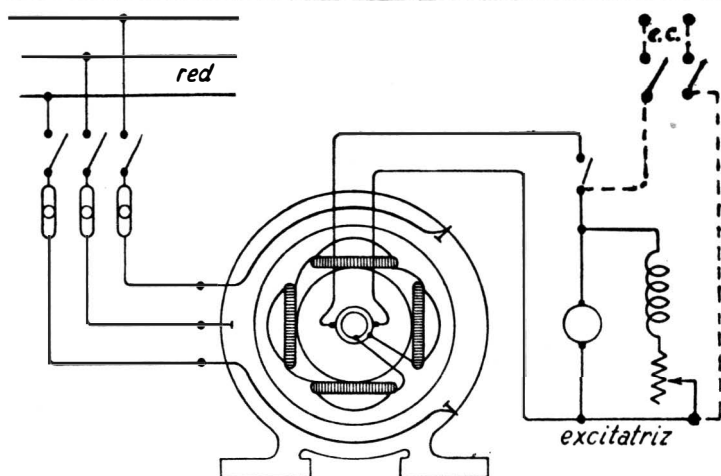


Fig. 160. — Esquema de conexiones de un motor sincrónico.

fuelle auxiliar, siguiendo el esquema de la figura 160 y cuando se ha pasado de la velocidad de sincronismo se desconecta la fuente auxiliar, se cierra el interruptor del circuito de campo, y se cierra el tripolar también, quedando el motor acoplado a la red.

Las complicaciones del arranque y la necesidad de usar corriente continua han relegado al motor

grande (pasando de 2 C.V.) necesita algún dispositivo limitador de la corriente de arranque, pues no se puede acoplar directamente a la red como en la figura 161. Para motores chicos se emplea la conmutación estrella-triángulo, que se ve en la figura 163. En el momento de arranque el devanado del estator queda conectado en estrella, con lo que cada fase recibirá sólo una fracción de 57% de la

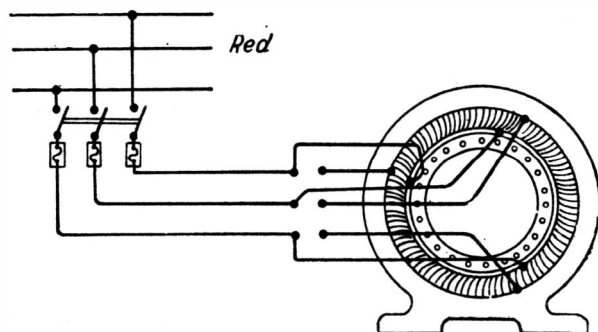


Fig. 161. — Esquema de conexiones de un motor asincrónico.

sincrónico a ciertos casos especiales únicamente, prefiriéndose para todos los demás los motores de inducción asincrónicos, más simples y que sólo requieren corriente alternada para funcionar.

La figura 161 muestra el esquema de conexiones de un motor de inducción trifásico, con su caja de seis bornes. Suponemos que se trata de un rotor a jaula, sin bobinado, que es el más común en los motores chicos. Hay un interruptor, un juego de fusibles, y después vamos directamente a la caja de bornes. Aquí podemos conectar al motor en estrella o en triángulo, según se ve en la figura 162. Según se pongan los puentes en posición vertical u horizontal, se tendrá una conexión o la otra. Esto es para los casos en que se cambie el motor de una red de $3 \times 220 \text{ V}$ a otra de $3 \times 380 \text{ V}$, por ejemplo.

En cuanto el motor de inducción es algo más

tensión de la red y la corriente de arranque será menor. Después que el motor arrancó se pasa el conmutador a la posición triángulo, y entonces cada fase recibe la tensión normal, funcionando el motor en forma correcta.

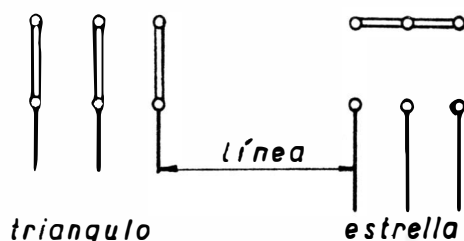


Fig. 162. — Puentes en la caja de bornes de un motor de corriente alternada.

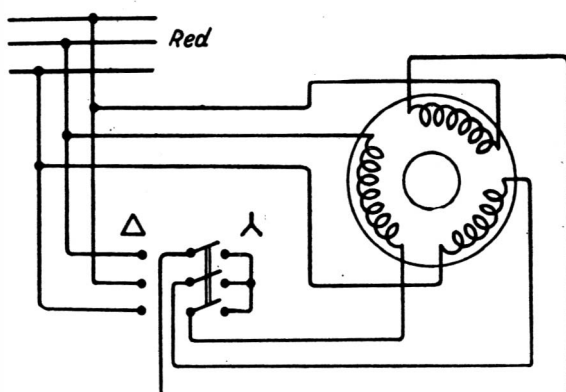


Fig. 163. — Esquema para arranque a conmutación estrella-triángulo.

Pero para poder aplicar este dispositivo es menester que el motor tenga cada fase de su bobina construida para la tensión de línea de la red. Pongamos un ejemplo: un motor de tres fases para 380 V puede funcionar en una red de 3×380 conectado primero en estrella, con lo que cada fase recibirá 220 V. Luego, al pasar a la conexión triángulo recibirá 380 V cada fase. Pero no se puede conectar en esa red un motor de 220/380, porque sólo soporta 380 V si está en estrella.

Cuando se presenta la imposibilidad de usar conmutador estrella triángulo, sea por la razón expuesta recién, o porque se trata de potencia muy grande y el sistema de conmutador no limita suficientemente la corriente de arranque, se debe recurrir a otros medios. Pueden conectarse resistores en serie con cada fase del estator, en forma de reóstatos a topes, que se eliminarán gradualmente a medida que el motor cobra velocidad.

El reóstato trifásico puede conectarse entre la red y el bobinado, o entre el bobinado y el punto neutro de la estrella. Es lógico que convendrá este último sistema, por necesitarse menor aislación y poder usarse un cursor de tres escobillas sin aislación entre ellas. La figura 164 muestra cómo se conecta un motor en ese caso, con su interruptor general y fusibles, y la conexión del reóstato en serie con cada fase del bobinado, pero conecta-

do sobre el punto neutro de la estrella. Cada reóstato se construye a topes para irse eliminando gradualmente.

También puede emplearse autotransformador de arranque que reduce la tensión aplicada a cada fase del motor, pero ello sólo se hace para motores muy grandes. Y es poco frecuente que los motores grandes tengan rotor a jaula, pues generalmente se los construye bobinados.

Cuando se dispone de un rotor con bobinado y los extremos de cada fase de dicho devanado van a tres anillos rozantes en el eje, se puede hacer arrancar al motor intercalando resistencias en serie con el rotor, como se muestra en la figura 165. Es el mejor procedimiento, porque no se limita la cupla de arranque en forma importante, y se evitan pérdidas excesivas de energía. El reóstato es de tres ramas, y tiene topes para ser eliminado gradualmente, haciendo girar el cursor. En la figura, la posición de arranque es hacia la derecha, y la normal a la izquierda, cuando el rotor queda en cortocircuito. Generalmente hay una palanca para levantar las escobillas y cortocircuitar directamente los anillos rozantes para evitar el chisporroteo.

Instalación de bombas

Las bombas son generalmente accionadas por

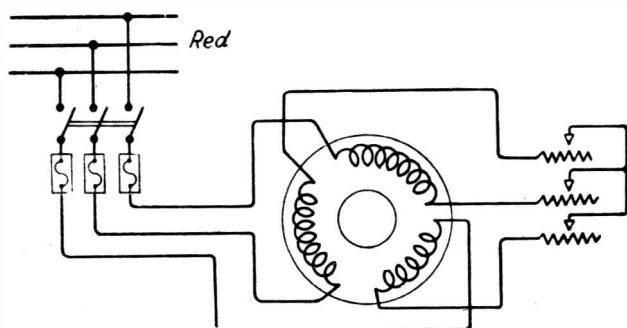


Fig. 164. — Esquema para arranque con reóstato en el estator.

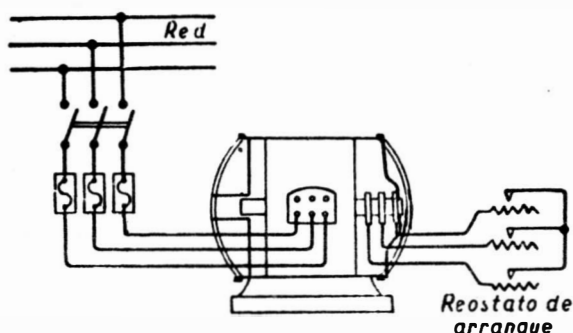


Fig. 165. - Esquema para arranque con reóstato en el rotor.

un motor eléctrico. Ese motor puede ser de corriente continua o de alternada. En este último caso se usará un motor de inducción. Los esquemas de conexiones ya han sido tratados, pero hay que mencionar los dispositivos automáticos para poner en marcha la bomba.

Generalmente se desea que cuando el tanque se vacía o llega a un nivel mínimo se ponga en marcha la bomba, y que cuando dicho tanque se haya llenado o llegue a un nivel máximo se interrumpa el funcionamiento. Esas dos operaciones deben ser automáticas, y para tal fin se emplea la disposición que se ilustra esquemáticamente en la figura 166. Consta de un flotante a colocar en el tanque, que tiene una perforación central por la que pasa una varilla; es evidente que esa perforación tendrá un tubo para cerrar el flotante por dentro, pues debe ser hueco y lleno de aire. La varilla tiene dos aros o topes, de modo que cuando el flotante baja hasta el nivel mínimo empuja al tope inferior y baja una palanca que está arriba, cerrando un interruptor. Cuando el flotante llega al nivel máximo empuja al otro tope y sube a la palanca, cerrando el mismo interruptor. Este interruptor gobierna un circuito auxiliar del automático, de manera que con auxilio de un electroimán lo cierra o lo abre, según el caso.

Otras veces el interruptor hermético del tanque es el que conecta o desconecta directamente al motor, pero entonces hay que instalar un interruptor auxiliar tripolar y fusibles para protección. El automático descrito antes es a la vez protector de sobrecargas, de cortocircuitos y de tensión cero. Es decir que si hay un funcionamiento irregular, o falta una fase, se abre el circuito antes que peligre el bobinado del motor.

Disposición de la instalación de fuerza motriz

Cualquiera que sea el artefacto a conectar siempre se tendrá una toma de corriente, en un lugar determinado, y habrá que llevar una línea desde esa toma hasta el motor. Según el tipo de motor,

esa línea tendrá dos, tres o cuatro conductores. Para determinar la sección de esas líneas se debe tener en cuenta la clase de corriente y la distancia a recorrer. Si la distancia es muy corta, se puede usar la tabla dada en las instalaciones de iluminación para la sección de cada conductor, referida a la corriente que circula por el mismo. Pero si la distancia es algo mayor, hay que verificar que no se produzca una caída de tensión importante. Para corriente continua o para corriente alternada monofásica se puede emplear la tabla adjunta para determinar la sección de los conductores a emplear en función de la potencia en Watt instalada en esa línea. Se entra con la longitud de la línea y con la potencia total en Watt, y se encuentra la sección en mm^2 . Más adelante veremos en detalle el cálculo de líneas.

Para corriente alternada trifásica hay que considerar dos casos: redes en triángulo o redes en estrella. En ambos, tendremos como dato la potencia total y la longitud de la línea. Pero la potencia con que se entrará a la tabla no será real, sino que la dividiremos por un factor:

Para redes en triángulo, dividir la potencia por 1,73.

Para redes en estrella dividir la potencia por 3.

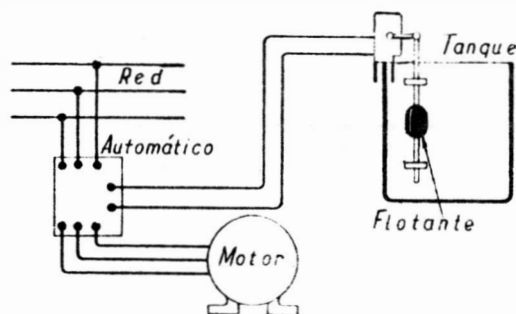


Fig. 166. - Esquema de conexiones de un interruptor automático a flotante para bomba.

Secciones en mm², necesarias para ramales o líneas

Potencia conectada en el extremo Watt	Longitud del ramal en metros				
	hasta 20	30	50	75	100
100	1	1	1	1	1
500	1	1	2	2	2
1.000	2	2	2	3	4
1.500	2	2	3	4	6
2.000	2	3	4	6	10
3.000	3	4	6	10	16
4.000	4	6	10	16	16
5.000	4	6	10	16	25
7.000	6	10	16	25	35
10.000	10	16	25	35	50
15.000	25	25	35	50	70
20.000	35	35	35	50	70

La instalación se dispone con un tablero general y ramales que van a cada motor o grupo de motores, según se ve en la figura 167. En cada derivación se colocará una caja de puentes y cada motor debe tener su tablero con interruptor y fusibles o automáticos. El tablero general debe tener un interruptor y fusibles, o automáticos para cada ramal, a efectos de precaverse contra fallas en los ramales. Además habrá un interruptor general. Los esquemas de tableros son los mismos que conocemos, con la diferencia que para redes trifásicas tendrán 3 ó 4 conductores por ramal.

Líneas eléctricas

Una línea eléctrica es un vínculo entre dos puntos distantes de manera tal que se puede controlar un artefacto desde otro lugar que el que está instalado, o se puede hacer uso de la energía eléctrica en otro lugar que el que se genera.

Como para formar un circuito eléctrico hacen falta como mínimo dos conductores, este sería el mínimo número de hilos que tendría la línea, pero como la tierra puede usarse como conductor de retorno, tenemos líneas con un solo hilo. De modo que podemos referirnos a líneas en general, y las habrá desde uno hasta cualquier cantidad de conductores.

Desde el punto de vista funcional, hay que hacer dos grandes grupos: las líneas para transporte de energía y las líneas para telecomunicaciones, pues sus características serán muy diferentes. En las de transporte de energía encontramos pocos conductores pero de gran sección, con tensiones de servicio elevadas, o por lo menos más grandes que las de las otras líneas. En forma destacada tenemos la robustez de la línea y la peligrosidad de las maniobras en la misma.

Las líneas para telecomunicaciones se carac-

terizan en cambio por tener generalmente muchos hilos, los que son de sección reducida, y las tensiones de servicio son mucho más pequeñas que en las líneas de energía. La conductibilidad de los conductores no es un detalle tan importante como en las otras líneas, y se llega a reemplazar el cobre, metal obligado en las de energía, por otros más económicos, como el hierro galvanizado. Es evidente que emplear cobre sería mejor, por ser más conductor que cualquier otro metal, pero razones económicas obligan a veces a reemplazarlo. Es común que las conexiones telefónicas entre la línea y los abonados se hagan con un cable de bronce endurecido, capaz de soportar mayores esfuerzos de tracción que el cobre, sin que se afecte en gran importancia al servicio.

Sección de los conductores

La determinación de la sección necesaria de cada conductor de la línea tiene importancia sólo en las de transporte de energía, pues en las otras generalmente la que se le asigna por razones de resistencia mecánica es superior a la que contempla las necesidades eléctricas.

En efecto, los conductores muy delgados no admiten tracción al colocarlos, de modo que sólo podrán ser usados cuando no se han de estirar, como en las instalaciones interiores o en las líneas subterráneas. Para líneas exteriores aéreas, se recomienda un mínimo de 4 milímetros cuadrados de sección, no obstante lo cual si se emplea un material más resistente que el cobre, puede reducirse ese mínimo.

En las consideraciones que siguen supondremos entonces líneas de cobre, para transporte de energía, pues las de telecomunicaciones no requieren cálculos como los presentados.

Un conductor al ser recorrido por la corriente sufre una elevación de temperatura por la transformación de electricidad en calor. Como al calen-

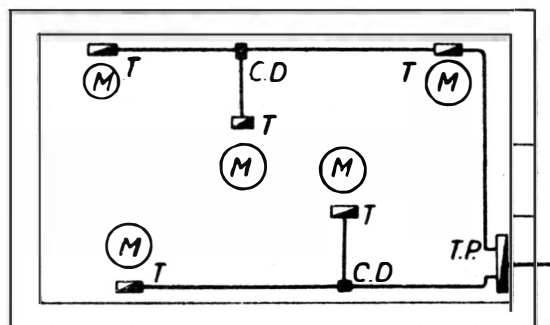


Fig. 167. — Plazo de la instalación de fuerza motriz.

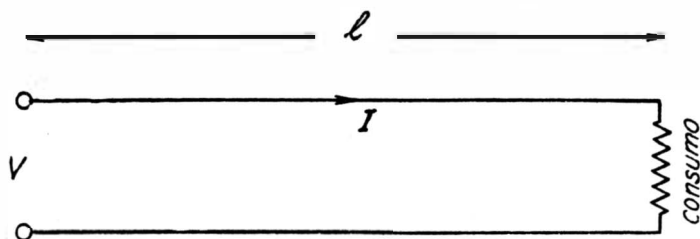


Fig. 168. — Esquema de una línea eléctrica de alimentación.

tarse estará a mayor temperatura que el ambiente, irradiará calor hasta que se establezca un equilibrio entre la cantidad de calor que se va produciendo y la que se puede irradiar. El agente productor de calor es la intensidad de la corriente eléctrica, y la irradiación depende de la superficie exterior del conductor en contacto con el aire. Es evidente que debe haber cierta relación entre ambas cosas.

Como los conductores para transporte de energía son generalmente aislados debe cuidarse que el material de cubierta no resulte afectado por el calor, de modo que se fijan límites de temperatura correspondientes a esos materiales y no al cobre, ya que éste tiene un punto de fusión de 1083°C. Fijando una elevación de temperatura de 20°C sobre el ambiente, se confecciona una tabla en la que se da la intensidad de corriente máxima para cada sección de conductor, a fin de cumplir con el requisito mencionado. La tabla fue tratada en el capítulo Instalaciones de Iluminación.

Caso de las líneas largas

La tabla de secciones admisibles no puede ser usada en todos los casos, pues para líneas largas hay otros problemas a considerar. En general, cuando una línea tiene algunas decenas de metros ya conviene verificar si la caída de tensión no está por encima de lo normal.

Los conductores de la línea, tanto el de ida como el de retorno, según se ve en la figura 168, forman resistencias eléctricas que están en el camino de la corriente y que, por ende, producirán caídas de tensión. Veamos cuanto valen esas caídas, llamando l a la longitud simple de la línea tomada en metros, s a la sección transversal de cada conductor, tomada en milímetros cuadrados, e I a la intensidad de la corriente en Amper. La caída de tensión será igual al producto de la intensidad de la

corriente por la resistencia de la línea con longitud doble, ya que la corriente va y vuelve:

$$e = \frac{2 \ell I I}{s}$$

Donde hemos llamado e a la caída de tensión que se produce. Como en la práctica siempre se puede adoptar una caída de tensión permisible, que oscila entre un 2 por ciento a un 5 por ciento para líneas de distribución y un 5 por ciento a un 10 por ciento para líneas primarias de alta tensión, en cada caso se determina cuantos Volt representa ese por ciento. Resulta entonces conocida la caída, de manera que podemos calcular la sección con solo despejarla de la fórmula anterior:

$$s = \frac{2 \ell I I}{e}$$

La resistividad de ℓ del cobre, a la temperatura de la línea, puede tomarse como 0,02 de modo que multiplicada por 2 resulta 0,04, y la fórmula se simplifica:

$$s = \frac{0,04 I I}{e}$$

Resultando s en milímetros cuadrados cuando se toma la longitud en metros, la intensidad en Amper y la caída en Volt.

Hay que ahcer notar que en el caso de líneas trifásicas, la corriente que figura en la fórmula debe ser la de línea, y que el factor 2 de la ecuación desaparece por ser común el retorno, de modo que el 0,04 se transforma en 0,02.

Siempre que se calcule la sección de una línea con el criterio de la caída de tensión, debe verificarse si no se sobrepasa la temperatura límite; claro que esto sucederá cuando la longitud está cercana a la que corresponde a líneas cortas, es decir menor de un centenar de metros.

Día 14

Una vez que hemos visto la teoría general de la Electrotécnica, el funcionamiento de los dispositivos más importantes y la realización de las instalaciones necesarias para que los mismos funcionen, ha llegado el momento de encarar las formas de verificar los dispositivos y sus instalaciones, para comprobar si el funcionamiento es correcto, para dimensionar convenientemente algunos accesorios y en general para poder conocer las magnitudes en juego, como serían las intensidades de carga, las tensiones en diferentes partes de los circuitos, el estado de las líneas y una infinidad de cosas relacionadas con el buen uso y servicio de todos los artefactos. Comenzaremos por ver cómo se conectan y usan los más conocidos aparatos eléctricos de medición y luego estudiaremos la manera de realizar mediciones prácticas con ellos en todas las variantes que se presentan en las instalaciones eléctricas, que es el verdadero objetivo. No encararemos los aparatos sofisticados de laboratorios especializados, ya que eso es tema para estudios de otro nivel y nunca se presenta la necesidad de usar tal tipo de instrumental por parte de un electricista. Se cumpliría acabadamente nuestro objetivo si los lectores aprendieran a usar correctamente todos los aparatos que mencionaremos en la presente jornada, que comencemos abordando nuestro tema para la misma.

MEDICIONES ELECTRICAS

Después de ver todas las instalaciones eléctricas, en las que se conduce la corriente para su utilización en forma de energía mecánica, térmica, química, etc., es necesario conocer cómo se efectúan las pruebas del estado de tales instalaciones así como ciertas mediciones necesarias para la mayor eficacia del servicio. Para tal fin el electricista se sirve de cierto número de aparatos de medida comunes, habiendo otros más complejos y perfeccionados para laboratorios de investigación que escapan al tema de este libro.

Veremos pues los aparatos de uso corriente en la Técnica, y las mediciones de índole general que se realizan para revisar o instalar cualquier tipo de artefacto eléctrico. En una palabra, pasaremos revista al equipo de un taller de electricista y la forma como se utilizan cada uno de los aparatos que allí se encuentren.

A fin de ordenar la exposición, agruparemos los diversos temas en dos partes: una que se refiere a los aparatos de medida y sus conexiones respectivas y otra que tratará sobre la forma de hacer mediciones en general.

Conexión de aparatos de medición

Los aparatos más comunes para empleo del electricista son: los amperímetros, los voltímetros, los wattímetros, los megóhmetros, los fasímetros y los frecuencímetros. Además de los mencionados existen otros, como los aparatos para medidas magnéticas, compensadores, galvanómetros, etc., que no son de utilización tan frecuente en el taller. Como el objeto de nuestra exposición es familiarizar al lector con la práctica habitual en el trabajo de electricidad, sólo nos ocuparemos de los primeros. En los tratados especializados se encuentran la descripción y forma de conectar todos los que no son considerados comunes.

Amperímetros

El pasaje de la corriente eléctrica por un conductor es susceptible de medirse, empleando conocidos principios de electromagnetismo. No hay más que hacer una bobina, por ejemplo, y colocar una chapa de hierro cerca de ella soportada por un

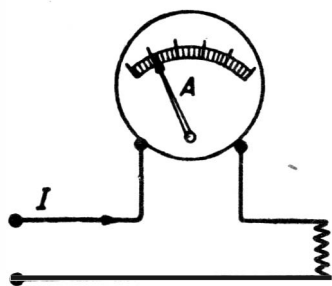


Fig. 169. — Conexión de un amperímetro.

resorte. Al pasar corriente por la bobina, la chapa será atraída, venciendo al resorte tanto más cuanto más intensa sea la corriente. Si se sujeta una aguja a la chapa, y se marcan sobre una escala rayitas cuando pasan por la bobina corrientes de intensidad conocida, habremos construido un amperímetro excelente. Cada vez que pasa una corriente de 1 Amper, por ejemplo, la aguja será movida hasta detenerse sobre la marca correspondiente a 1 A en la escala, y así para otras corrientes.

Luego un amperímetro es un aparato que debe insertarse en serie con el conductor cuya corriente circulante se quiere medir, y según indica la figura 169. Tiene dos bornes, uno para entrada de la corriente y otro para salida de la misma. Algunos amperímetros son polarizados, es decir tienen indicación de bornes + y -. El borne + es el de entrada y el - el de salida. Estos son únicamente para corriente continua y funcionan bajo el principio de la acción entre un imán permanente y una bobina móvil colocada dentro de aquél. No sirven para corriente alternada.

Los demás tipos de amperímetros, sean del tipo de hierro móvil que citamos al principio o del tipo de doble bobina o electrodinámico o del tipo térmico, sirven para ambas corrientes y por lo tanto sus bornes no tienen ningún signo. Se puede hacer entrar la corriente por cualquiera de sus dos bornes. Los electrodinámicos tienen una bobina fija y dentro de ella otra móvil a la cual

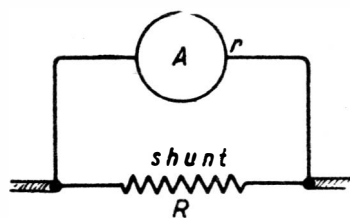


Fig. 170. — Aumento del alcance de un amperímetro en corriente continua

está fija la aguja. Al pasar corriente por las dos bobinas se origina una acción de repulsión similar a la de los motores eléctricos y la bobina móvil comienza a girar, pero un resorte espiral no la deja. Cuando la intensidad es grande el ángulo de giro también lo es y siempre se tiene que la aguja marca en la escala una cantidad correspondiente a la intensidad circulante.

Los amperímetros térmicos tienen un hilo conductor delgado, que al pasar la corriente se calienta y se alarga y entonces una rienda que tira para un costado hace un movimiento que se transmite a la aguja.

La escala de los amperímetros indica hasta qué valor de la intensidad se pueden usar. Para medir con un amperímetro valores mayores, se debe conectar un *shunt* o resistencia adicional, según se ve en la figura 170. La corriente se bifurca en las dos ramas y sólo pasa por el amperímetro una fracción

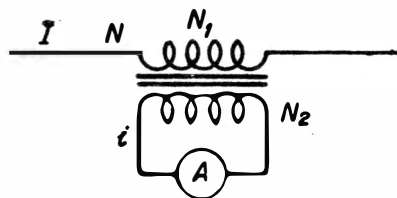


Fig. 171. — Aumento del alcance de un amperímetro en corriente alternada.

exacta de la total, fracción que se elige como la mitad, la décima, la centésima, etc., siempre una cantidad cómoda.

Si la resistencia del amperímetro (de su bobina se entiende) es r , que conocemos, y deseamos multiplicar el alcance un número n de veces por ejemplo 2, 10, 100, etc., el shunt debe tener un valor:

$$R = \frac{r}{n - 1}$$

Es decir la resistencia del amperímetro dividida por el número de veces que se aumenta la escala restado de una unidad. Cuando se conecta un shunt, la lectura del amperímetro debe ser multiplicada por n para saber la corriente real que hay en la línea. Por ejemplo, si se tiene un amperímetro para 5 A y se coloca un shunt para 50 A, hemos aumentado el alcance 10 veces, luego cualquier lectura en la escala debe ser multiplicada por 10 para saber la corriente real en la línea.

Para corriente alternada no se emplean shunts, cuando se quiere ampliar el alcance de medición, porque como el amperímetro tiene una bobina

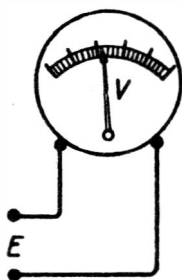


Fig. 172. — Conexión de un voltímetro.

y el shunt es una resistencia, se producirán defasajes entre las dos ramas que falsearían la indicación. Para ampliar el alcance de medición se usan los transformadores de intensidad, que se conectan como muestra la figura 171. El bobinado primario se inserta en serie con la línea y el amperímetro se conecta directamente en los dos bornes del secundario. De acuerdo con lo que vimos en el capítulo 8 los transformadores reductores de tensión tienen menos vueltas en el secundario, pero los reductores de intensidad a la inversa, luego en nuestro caso tendremos muchas vueltas en el secundario y en la proporción:

$$\frac{I}{i} = \frac{N_2}{N_1}$$

Donde N_1 es el número de espiras del primario e I la intensidad que circula por el mismo; N_2 es el número de vueltas del secundario e i la intensidad que circula por él y por el amperímetro. Como I es varias veces más grande que i , se ve que en el secundario tendremos muchas espiras, lo que habla del peligro que significaría dejarlo en circui-

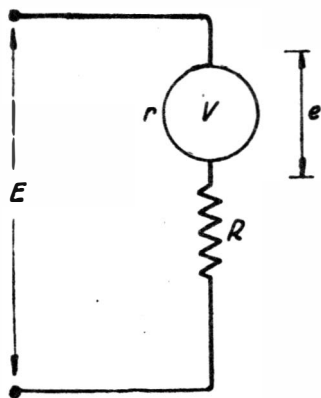


Fig. 173. — Aumento del alcance de un voltímetro en redes de baja tensión.

to abierto, pues se generarían tensiones elevadas. Por tal motivo nunca debe desconectarse un amperímetro del secundario de un transformador de intensidad estando conectado, y si se desea dejar el secundario sin instrumento se lo debe poner en cortocircuito.

Los transformadores de intensidad se especifican así: 50/5 por ejemplo; esto quiere decir que es para que un amperímetro de 5 A pueda medir hasta 50, con lo que las lecturas de la escala se multiplicarán por 10. Se indican las dos corrientes para evitar que se sobrecarguen por error los bobinados.

Voltímetros

En esencia, un voltímetro es un amperímetro, pero que se conecta en paralelo con la toma según indica la figura 172. Para que la corriente que circula por su bobina no sea muy elevada se le conec-



Fig. 174. — Resistencias multiplicadoras con derivaciones para varios alcances de medición.

ta un resistor adicional en serie, pero viene dentro del aparato, de modo que, en el exterior tiene sólo dos bornes. Su escala indica directamente la tensión en Volt que hay entre los dos puntos donde se conectó. Hay modelos polarizados para corriente continua solamente y no polarizados para ambas corrientes, en la misma forma que los amperímetros, pues funcionan bajo el mismo principio que aquellos.

Un voltímetro se construye para una cierta tensión máxima, que es la cifra mayor indicada en la escala. Para medir tensiones más grandes que esa, hay que conectarle un resistor adicional en serie como indica la figura 173. Ese resistor tiene un valor R , cuando el voltímetro tiene una resistencia interior de valor r , y para calcularla hay que tener en cuenta que la escala del voltímetro es para un máximo de tensión que llamaremos e , y que en la toma hay una tensión mayor E . Se tiene:

$$R = r(n - 1)$$

Donde n es el número de veces que se quiere ampliar la escala. Por ejemplo, un voltímetro para 30 Volt se quiere usarlo para tensiones mayores como 300 V. Luego el valor n es:

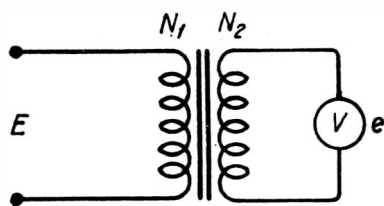


Fig. 175. — Aumento del alcance de un voltímetro en redes de alta tensión.

$$n = \frac{E}{e} = \frac{300}{30} = 10$$

Y de acuerdo con ello la resistencia adicional será 9 veces mayor que la interna del voltímetro, y las lecturas que se hagan en la escala deberán multiplicarse por 10. Para disponer de varias escalas se usan resistencias con derivaciones, como se ve en la figura 174.

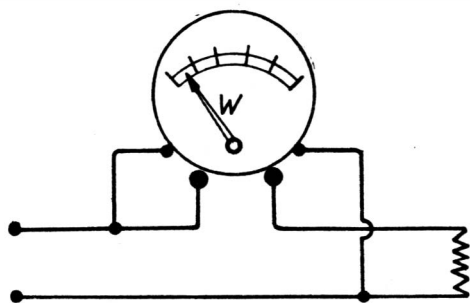


Fig. 176. — Conexión de un wattímetro.

En corriente alternada se amplía el alcance de los voltímetros con la misma resistencia adicional, pues la influencia del desfase es mínima, pero en el caso de altas tensiones conviene independizar el aparato de la red. Para ello se conecta un transformador reductor de tensión, como se ve en la figura 175. El voltímetro se conecta al secundario

y el primario a la red. Según la relación entre los números de espiras, se cumple idéntica relación entre las tensiones, de modo que si el primario tiene 100 veces más espiras que el secundario, por ejemplo, las lecturas del voltímetro se multiplicarán por 100 y así sucesivamente.

Wattímetros

Es una combinación de voltímetro con amperímetro, pues sabemos que la potencia está dada por el producto entre la tensión y la intensidad. Luego el wattímetro debe tener dos bobinas, una de intensidad y una de tensión. La primera es para corrientes mayores, ya que se conectará en serie con el circuito, y sus bornes son generalmente más robustos. La bobina de tensión se conecta en paralelo con la toma, igual que un voltímetro. La figura 176 muestra la conexión de un wattímetro para medir la potencia absorbida por una resistencia cualquiera, que puede ser un calentador, por ejemplo.

Para los casos en que se deban medir magnitudes mayores que las máximas toleradas por el wattímetro, se deben conectar resistores adicionales, en la forma que se vio para los amperímetros y voltímetros, pero hay que hacer una salvedad importante. No interesa si se sobrepasa o no el máximo de la escala del aparato, sino que hay que cuidar cada una de sus bobinas por separado, resultando contemplada la escala automáticamente.

Quiere decir que se observará si por la bobina de intensidad no pasa una corriente mayor que la especificada por el aparato, y a la bobina de tensión no se le aplica una tensión mayor que la que se especifica. Así, por ejemplo, un wattímetro está marcado en la siguiente forma:

5 A

110 V

Y si se desea medir potencias en circuitos de 220 V habrá que conectarle un resistor en serie con la bobina de tensión. Si la corriente de consumo es mayor que 5 A, habrá que conectar un shunt. Ambos resistores adicionales se conectan

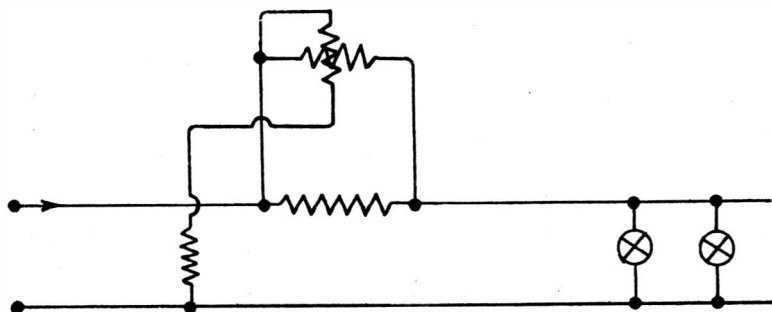


Fig. 177. — Aumento del alcance de un wattímetro en corriente continua.

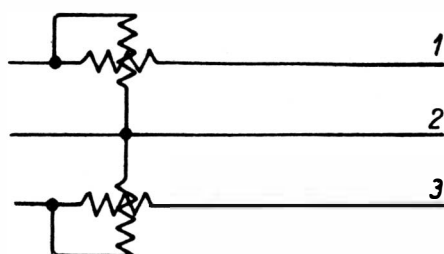


Fig. 178. — Conexión de un wattímetro trifásico o dos monofásicos para medir la potencia total de una red trifásica.

como se indica en la figura 177 donde hemos dibujado el wattímetro de acuerdo al símbolo más común, con dos bobinas cruzadas. Si se trata de corriente alternada, se reemplaza el shunt por un transformador de intensidad, igual que para amperímetros.

Hay wattímetros que vienen provistos de un conmutador para varias tensiones e intensidades máximas, es decir que tienen en el interior varios shunts y resistencias adicionales voltimétricas. El conmutador las conecta según las necesidades del circuito. Conviene siempre ampliar el mínimo posible el alcance, para que la lectura se haga en la parte más adelante posible de la escala, pues cuanto mayor sea la indicación del aparato, mayor es la exactitud obtenida en la lectura.

Hay que tener en cuenta que si se amplía el alcance de la bobina de intensidad unas 10 veces y el de la bobina de tensión 2 veces, por ejemplo,

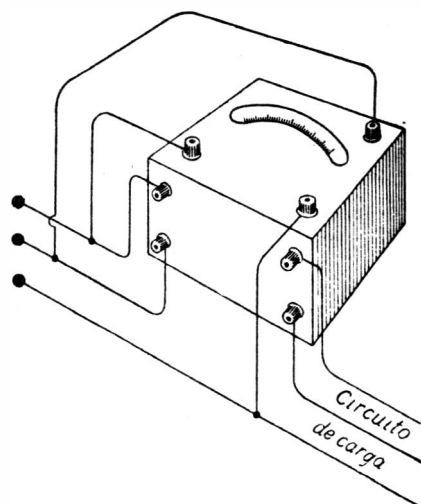


Fig. 179. — Conexiones de un wattímetro trifásico.

las lecturas deben ser multiplicadas por 20. Y en general, las lecturas deben multiplicarse por el producto de los dos factores de ampliación de escalas.

En corriente alternada los wattímetros se conectan en la misma forma que en continua, salvo en circuitos trifásicos, en los que pueden conectarse dos wattímetros comunes o uno trifásico. Los dos wattímetros se conectan en la forma indicada en la figura 178 con sus dos bobinas de intensidad en serie con dos fases solamente, y sus dos bobinas de tensión conectadas entre esas dos fases y la que quedó libre.

Si se trata de un wattímetro trifásico siempre tiene siete bornes: cuatro de intensidad, que se conectan en la forma que se muestra en la figura 179 y tres de tensión, dos para las fases ya citadas y el

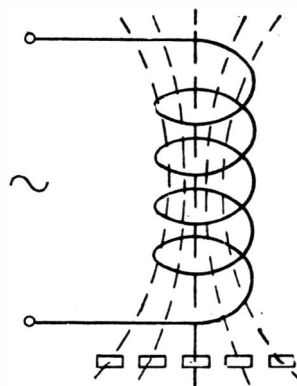


Fig. 180. — Principio de funcionamiento de un frecuencímetro de lengüeta.

central para la fase que quedó libre.

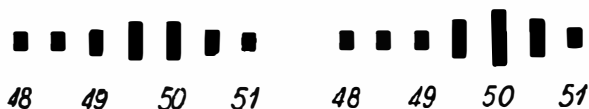
Si son dos monofásicos hay que sumar las dos lecturas para tener la potencia total trifásica. Si se trata de uno trifásico la lectura da directamente la potencia total. No hay inconveniente en medir la potencia total trifásica con tres wattímetros monofásicos, conectados uno a cada fase, y sumar luego sus indicaciones, pero el esquema de la figura 179 permite ahorrar un aparato.

Frecuencímetros

Los aparatos para medir la frecuencia de la corriente alternada se denominan *frecuencímetros*. Hay dos tipos: a resonancia mecánica y de aguja.

El tipo de resonancia mecánica (ver figura 180) tiene una serie de lengüetas de distintos períodos de resonancia propia, que se colocan frente a un

Fig. 181. — Forma de hacer lecturas en un frecuencímetro de lengüeta.



bobinado excitado por la corriente alternada en estudio. La lengüeta cuyo período propio coincida con la corriente alternada vibrará con mayor intensidad que las otras, y como en el frente del aparato están indicados los períodos de resonancia de cada una, se lee el que corresponde a la frecuencia de la corriente, por simple observación.

Así, en la figura 181 se ven dos casos: uno en el que la frecuencia de la corriente alternada es de 49,75 ciclos por segundo, por lo que vibran igual la lengüeta de 50 ciclos y la de 49 1/2 ciclos. Otros es cuando la frecuencia es justo 50 ciclos por segundo, en el que vibra más la lengüeta de período propio 50. En esta forma se hacen las lecturas.

Los frecuencímetros de aguja se basan en la resonancia eléctrica. Tienen un conjunto de bobinas, capacitores y resistores, formando circuitos resonantes para una serie de frecuencias, separadas entre sí de medio o de un ciclo. Según la frecuencia a medir sea mayor o menor que la de resonancia, la bobina móvil se desplaza hacia un lado o hacia otro.

Otro tipo de frecuencímetro de aguja es el llamado de inducción, el que tiene un disco de aluminio sobre el que actúan dos campos magnéticos; las bobinas que forman esos campos tienen en serie una resistencia pura y una inductancia respectivamente. Si la frecuencia es justo de 50 ciclos el disco se mantiene en equilibrio, pero si es mayor la impedancia de la bobina aumenta, y baja el campo magnético de ella con respecto al de la resistencia pura, con lo que el disco se desplaza hacia un lado. Si la frecuencia es menor de 50, la impedancia de la bobina disminuye y el campo de la rama que tiene la inductancia aumenta con respecto al de la resistencia y el disco se desplaza hacia el otro lado. Todos los frecuencímetros se conectan como voltímetros.

Fasímetros

Son aparatos que sirven para indicar directamente el defasaje entre la corriente y la tensión alternada en un circuito. Tienen una bobina fija, que produce el campo magnético principal del aparato y que se conecta como la bobina de intensidad de un wattímetro (ver figura 182). Sus bornes, son los *I*, indicados en la figura. Dentro del campo magnético citado hay un par de bobinas móviles

dispuestas en forma cruzada, y están bobinadas de manera que los sentidos de la acción dinámica que tiende a hacerlas girar se oponen entre sí, es decir que las cuplas motoras de cada bobina son de sentido contrario.

En serie con las dos bobinas se conecta una resistencia pura y una inductancia pura, respectivamente con cada una. Luego las corrientes en las dos ramas estará casi defasadas de 90° entre sí. Este es el circuito de tensión, que se conecta como la bobina voltimétrica de un wattímetro y cuyos bornes son los *E* de la figura.

La cupla resultante depende del defasaje entre la corriente de la bobina de intensidad y la tensión del circuito, de modo que la aguja que está fija al sistema de bobinas móviles gira de ángulos proporcionales a la tangente trigonométrica de ese ángulo de defasaje. La escala puede tararse directamente con el coseno de tal ángulo, para leer directamente el factor de potencia.

Cabe hacer notar que en los párrafos anteriores hacemos referencia a dos cosas que parecían difíciles de interpretar. Nos referimos al concepto de resonancia y al de tangente del ángulo ϕ . La resonancia es una condición eléctrica en la que la reactancia capacitiva de un circuito es igual a la reactancia inductiva. La propiedad de un circuito en tales condiciones es que absorbe máxima corriente, de modo que se entiende como puede funcionar en tal forma un fasímetro a resonancia eléctrica.

Con respecto a las tangentes del ángulo citado, no hay que hacer mayor hincapié en ello, ya que la mayoría de los fasímetros dan directamente el ángulo o el coseno de dicho ángulo. Este último, el coseno, sabemos que se llama factor de poten-

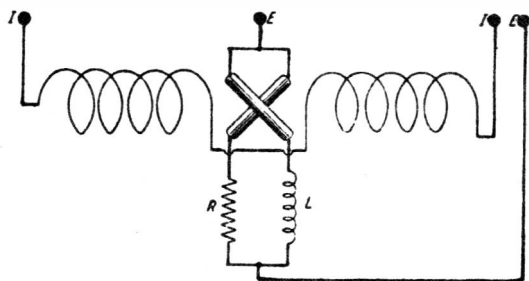


Fig. 182. — Esquema interno de conexiones de un fasímetro para medir el factor de potencia.

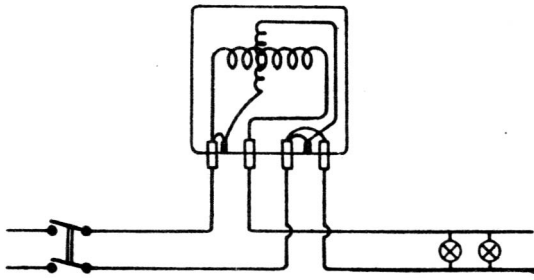


Fig. 183. — Conexión de medidores de corriente alterna monofásica.

cia, y que se coloca en la fórmula para calcular la potencia de un circuito de corriente alternada.

Conexión de medidores

Para medir la energía eléctrica consumida en un circuito se emplean los medidores eléctricos, que son esencialmente un wattímetro con un contador de vueltas. Se conectan en forma muy similar a esos aparatos y según sea la red de corriente alternada monofásica o trifásica.

La figura 183 muestra las conexiones de un medidor para corriente alterna monofásica, notándose que hay entrada y salida de cables al medidor, lo que se hace para evitar los puentes exteriores. El circuito de consumo está formado por lámparas, en este caso. La lectura da directamente un número, que son los Kilowatt-hora consumidos, pero hay que aclarar que las indicaciones son progresivas, de manera que siempre hay un número indicado. Para saber cuál es la energía consumida en un plazo determinado, hay que hacer la lectura al comienzo y al fin de ese plazo, lecturas que se llaman *anterior* y *actual*. Así, por ejemplo, si al comienzo se tiene 1565 KWh y al final del plazo fijado 1595 KWh, el consumo será:

Lectura actual.	1595
Lectura anterior	1565
Consumo.....	30 KWh

Y se procede así tanto en corriente monofásica como trifásica, por simple resta entre las dos lecturas. En la práctica el plazo es de un mes, pues se cobra la energía mensualmente.

Los medidores para redes trifásicas tienen dos circuitos completos, pues equivalen a un wattímetro trifásico. Se conectan según indica la figura 184 y sus lecturas se hacen en idéntica forma, no habiendo otras diferencias importantes. Generalmente están provistos de un borne auxiliar para el conductor neutro, por si se emplean en redes estrella con neutro a tierra.

Cualquier medidor puede ser usado como wattímetro, a falta de ese aparato, pues basta conocer su constante o número de revoluciones del disco por Kilowatt-hora. Llamemos C a esa constante, que en la práctica tiene un valor elevado (por ejemplo 3600 rev. por KWh). Se tiene un medidor conectado en una instalación y se cuida que no haya ningún otro artefacto funcionando, salvo aquel cuya potencia se desea determinar. Supongamos que se quiere medir la potencia eléctrica de una lámpara incandescente.

Se observa el disco del medidor cuando esta conectado sólo ese artefacto mencionado, y se verá que da vueltas. Se cuentan las vueltas que da en un minuto justo. Sean n las vueltas que ha dado en un minuto. Luego la potencia de esa lámpara o cualquier artefacto conectado será:

$$W = \frac{60000 n}{C}$$

Donde W es la potencia del artefacto conectado, en Watt; C es la constante del medidor, o número de vueltas por KWh; n es el número de vueltas que dio el disco en un minuto. Supongamos por ejemplo que se ha conectado una plancha y durante un

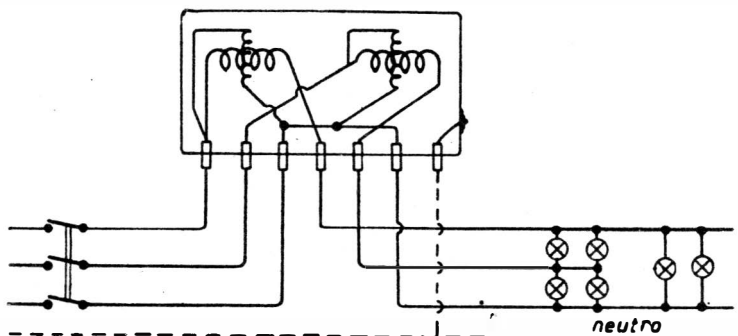


Fig. 184. — Conexión de medidores trifásicos.

minuto el disco ha dado 50 vueltas. El medidor tiene una constante 6000 rev/KWh. Aplicamos la fórmula que hemos visto y se tiene:

$$W = \frac{60.000 \times 50}{6000} = 500 \text{ Watt}$$

Y en forma análoga se puede proceder en todos los casos para encontrar la potencia de cualquier artefacto sin wattímetro, y con sólo disponer del medidor de consumo en la casa.

Esquemas para mediciones

La magnitud más frecuente a medir, fuera de las que se leen directamente en los aparatos que hemos visto, es la resistencia eléctrica. Ya sea para conocer el valor de la resistencia de un elemento de calefacción (calentador, plancha, cocina, etc.) para determinar si está en buen estado o le falta alguna sección, para conocer su consumo, o simplemente para saber el valor que tiene. También se mide la resistencia de pérdidas de una instalación, la de aislamiento de un bobinado, etc.

Para medir una resistencia puede aplicarse la ley de Ohm, que da el valor de la misma como cociente entre la tensión en sus extremos y la intensidad que la recorre:

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

Y bastaría conectar en un circuito un voltímetro, que nos daría el valor E , y un amperímetro que nos da el valor I , dividir ambos valores y obtenemos la resistencia R . El esquema de la figura 185 ilustra sobre el procedimiento a seguir: el voltímetro se conecta directamente a la toma y el amperímetro se inserta en serie con la resistencia.

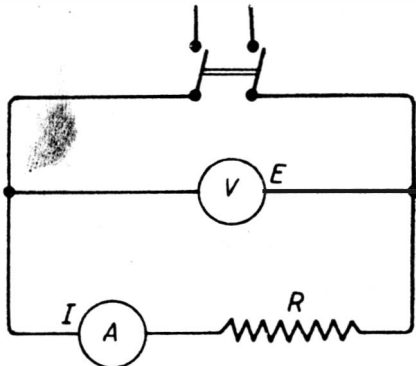


Fig. 185. — Medición de resistencias de valor común.

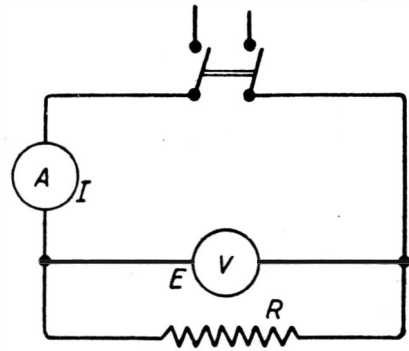


Fig. 186. — Medición de resistencias de valor muy pequeño.

Luego se leen los instrumentos y se hace el cociente de sus valores.

Pero puede suceder que ese método ocasione un error en los cálculos; en efecto, si la resistencia que se mide es muy pequeña, como sería el caso de la resistencia de un bobinado de cobre, la de contacto entre la escobilla y el colector en una máquina eléctrica, y otros en que sabemos que se trata de fracciones de Ohm, no conviene utilizar el circuito propuesto, pues la bobina del amperímetro queda en serie con la resistencia a medir. Al haber dos resistencias en serie la tensión se reparte entre ellas y a cada una le toca sólo una parte de E ; poniendo en la fórmula el valor total se comete error, pues debería usarse sólo la fracción que hay entre los extremos de la resistencia R .

Para tales casos conviene emplear el esquema de la figura 186 en que el voltímetro queda en paralelo con la resistencia R , indicando la tensión entre extremos de la misma. La fórmula a aplicar es la que se vio más arriba.

Para los casos en que la resistencia a medir no sea de fracciones de Ohm, sino de valores de varias decenas, centenas o millares de Ohm, conviene el esquema anterior (figura 185) pues en ese caso el de la figura 186 podría ocasionar errores por el consumo del voltímetro.

Medición de resistencias de aislamiento

Las resistencias que presentan al paso de la corriente los materiales de aislamiento son muy elevadas, ya que no son conductores de la electricidad. Pero sin embargo, algo de corriente pasa a través de ellos y es necesario medir, de cuando en cuando, el valor de esa resistencia para saber en qué estado está la aislación. Si acusa resistencia baja está mala, y habrá que cambiar la pieza o el conductor. Se especifica que en ningún caso se debe tener

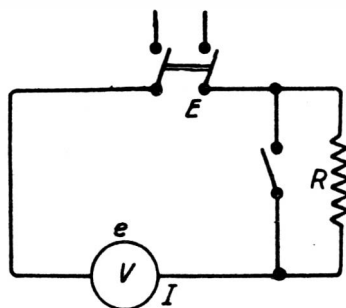


Fig. 187. — Medición de resistencias de aislamiento con un voltímetro.

menos de 1.000 Ohm por cada Volt de la tensión de servicio.

Para medir resistencias tan grandes como las de aislamiento se puede usar un voltímetro, conectado como se indica en la figura 187. Se conecta en serie con la resistencia a medir. En paralelo con esta última se coloca una llave unipolar, para eliminarla del circuito y poder medir con el mismo voltímetro la tensión de la toma.

La resistencia de aislamiento de una instalación eléctrica se mide entre un borne vivo cualquiera y tierra, o entre ese borne y la cañería metálica. La de un motor o un generador eléctrico se mide entre un borne vivo y la carcasa de hierro, y así para los demás casos.

El método es el siguiente: se conecta un voltímetro cuya resistencia interior es conocida, de valor r , y se prepara el circuito como indica la figura 187. Con la llave unipolar abierta y la principal cerrada se lee en el voltímetro lo que indique, que es e (Volt) y cerrando la llave unipolar se lee la tensión de la toma E . Luego se aplica la fórmula:

$$R = r \frac{E - e}{e}$$

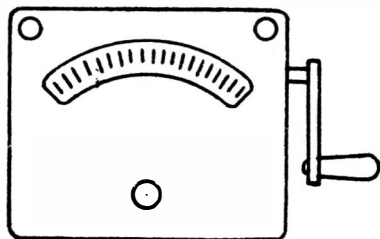


Fig. 188. — Megóhmetro, para la medición directa del aislamiento.

Es decir que se multiplica la resistencia del voltímetro por un cociente formado por la diferencia de las dos tensiones leídas, dividida por la menor de esas tensiones.

Con este principio se han construido aparatos que dan directamente en la escala el valor de la resistencia de aislamiento y son los *megóhmetros*, uno de los cuales se ilustra en la figura 188. Constán de una escala graduada en Megohm directamente (millones de Ohm) y una fuente generadora a magneto, que se acciona con una manivela. Se evita así la doble lectura y la maniobra con la llave, pues la tensión del magneto se mantiene constante gracias a un regulador especial. Se conecta directamente a los dos puntos cuya resistencia se desea medir y se gira la manivela, leyendo en la escala el valor de la resistencia de aislación.

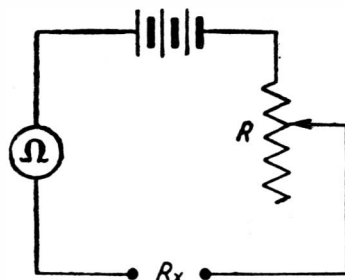


Fig. 189. — Conexiones internas del óhmetro de lectura directa para resistencias.

Insistimos en que siempre se debe tener como mínimo, para considerar aceptable la aislación, una lectura de 1.000 Ohm por cada Volt de la tensión en servicio. Así para instalaciones de 220 Volt se debe leer como mínimo 220.000 Ohm.

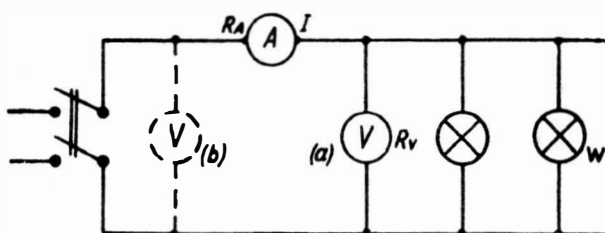
Medición con óhmetros

Basado en el método anterior, se pueden construir aparatos para medir resistencias por lectura directa. En efecto, disponiendo dentro del mismo una batería de pilas, cuya tensión se mantiene constante y colocando un voltímetro en serie (ver figura 189) se hacen lecturas de la escala que está tarada directamente en Ohm.

Para tarar la escala, se calculan todos los valores de R_x que corresponden a cada división de la escala del voltímetro, y se cambia esta última por una nueva escala marcada en Ohm.

Como la batería puede sufrir pequeñas variaciones de tensión, que sería la tensión E de la fórmula, antes de empezar la medición hay que ajus-

Fig. 190. — Esquema de conexiones para medir la potencia en corriente continua, utilizando voltímetro y amperímetro.



tar el óhmetro, lo que se hace uniendo en cortocircuito las dos puntas libres que sirven para conectar la resistencia a medir. En tal caso, el aparato debe indicar resistencia exterior nula, que correspondía en el voltímetro a máxima escala, pues se aplica al mismo toda la tensión de la batería. Si no indicara cero el óhmetro, se ajusta el cero con un pequeño resistor variable R , que se ve en la figura.

Otros óhmetros usan también un voltímetro, pero lo conectan en paralelo con la batería y con la resistencia a medir, trabajando por las variaciones que se producen en la caída de tensión.

Para tener distintos alcances de medida, se acostumbra a conmutar las baterías mediante una llave selectora. En tales casos, la escala resulta multiplicada por un valor cómodo (10, 100, etc.). La compensación de cero conviene que esté separada para cada alcance de medición, pues el desgaste de las baterías puede ser distinto en unas que en otras.

Medición de potencia en continua

Con voltímetro y amperímetro. — De acuerdo con la expresión de la potencia en corriente continua, se ve que se puede determinar su valor mediante la conexión de un voltímetro y un amperímetro (ver figura 190). Ahora bien, el voltímetro se puede conectar directamente en los bornes de la resistencia o en la toma (esquema a y b) respectivamente. La expresión de la potencia es:

$$W = EI$$

pero debe aclararse que E debe ser la diferencia de potencial entre los extremos de la carga que está absorbiendo la potencia a medir, e I es la corriente que pasa por esa carga.

En el caso del esquema (a) por el amperímetro pasa, además de la corriente a medir, la que absorbe el voltímetro, que se puede determinar en función de la tensión en los bornes del mismo y la resistencia interna.

Puede corregirse la fórmula anterior para este esquema si se descuenta al producto dado la potencia que absorbe el voltímetro, en función de los

valores mencionados:

$$W = EI - \frac{E^2}{Rv}$$

siendo Rv la resistencia interna del voltímetro. La potencia resulta dada en Watt.

Con el esquema (b) el voltímetro está conectado directamente a los bornes de la toma de manera que su consumo no está indicado por el amperímetro, pero en cambio la tensión que indica no es la que hay en los bornes de la carga, sino que está incluida la caída de tensión en la resistencia interna del amperímetro.

La corrección a hacer en este caso es descontar la potencia que consume el amperímetro, de resistencia interna Ra . La fórmula de potencia queda corregida así:

$$W = EI - I^2 Ra$$

Según la importancia de las correcciones frente al producto de las lecturas, pueden omitirse, dejando la fórmula simple vista al comienzo del párrafo. Veamos cuando sucede esto:

En el caso del esquema (a) si la resistencia del voltímetro es muy grande con respecto a la que presenta la carga, el término correctivo será pequeño y puede omitirse la corrección. Este circuito será apropiado entonces para los casos en que la carga consuma elevada intensidad de corriente.

El esquema (b) será apropiado cuando el amperímetro esté recorrido por intensidad de corriente reducida y cuando su resistencia propia sea pequeña con respecto a la de carga. En tales casos el término correctivo será pequeño y puede omitirse.

Hay que hacer notar que los instrumentos deben estar previstos para la tensión e intensidad que hay en el circuito. En caso contrario se amplía su alcance de medida en la forma conocida.

Con wattímetro. — Sabemos que el wattímetro es un aparato que incluye dos bobinas: una de tensión y una de intensidad. La conexión se hará entonces en forma similar a la figura 190 sólo que en lugar de instrumentos independientes se tendrá solamente uno (ver figura 191). Hay también

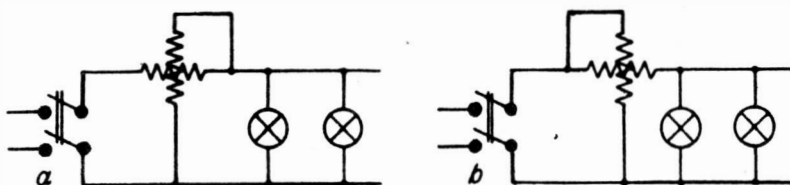


Fig. 191. - Esquema de conexiones para medir la potencia con un wattímetro.

en este caso dos posibilidades, que corresponden a los esquemas (a) y (b) de esta figura.

Si la bobina de tensión de wattímetro se conecta directamente a los bornes de la carga, según el esquema a, hay que descontar a la lectura del aparato la potencia que absorbe la bobina de tensión, que es:

$$\frac{E^2}{Rv}$$

Medición de potencia monofásica

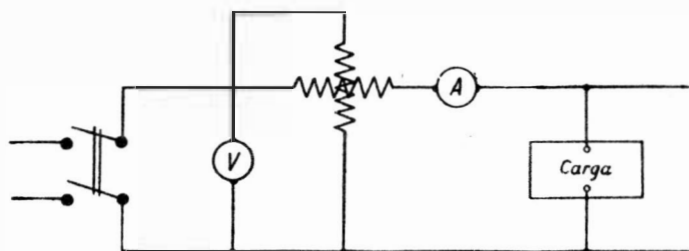
Sabemos que la potencia en corriente alternada está dada por la expresión:

$$W = E I \cos \varphi$$

siendo E la tensión en el circuito, I la corriente que lo recorre y $\cos \varphi$ el coseno trigonométrico del ángulo de defasaje entre la corriente y la tensión.

Es lógico que sólo se podrá medir la potencia

Fig. 192. - Esquema de conexiones para medir la potencia y el factor de potencia en un circuito de corriente alternada.



cifra que se restará a la lectura del wattímetro. Obsérvese que hay que conocer la tensión que hay en la toma.

Si se usa el esquema b, en el cual la bobina de tensión queda conectada directamente a la toma, hay que descontar el consumo de la bobina de intensidad, que es:

$$I^2 R_a$$

siendo R_a la resistencia de la bobina citada e I la corriente que la recorre, que se debe conocer para hacer la respectiva corrección.

En la práctica se prescinde de los términos correctivos a las lecturas del wattímetro, si se siguen las reglas dadas para el caso anterior, es decir, usar el esquema a para potencias grandes y el b para pequeñas.

La ampliación del campo de medida se hace en la forma anteriormente dicha, es decir con resistencias en paralelo con la bobina de intensidad, si ésta es la superada, o resistencias en serie con la de tensión, si el valor en la línea supera su tolerancia.

con voltímetro y amperímetro si el factor de potencia fuera unitario, lo que se cumple para ángulos nulos de defasaje, es decir para carga óhmica pura.

Luego la potencia de la corriente alternada se puede medir con un voltímetro y amperímetro

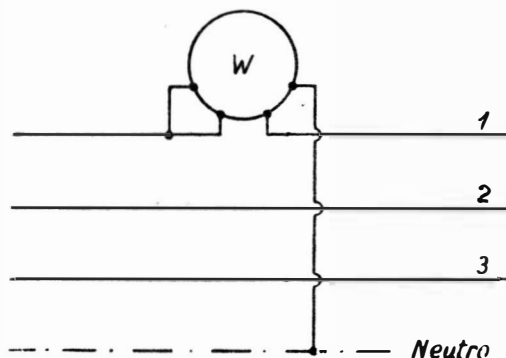


Fig. 193. - Esquema de conexiones para medir la potencia en una red trifásica con un solo wattímetro.

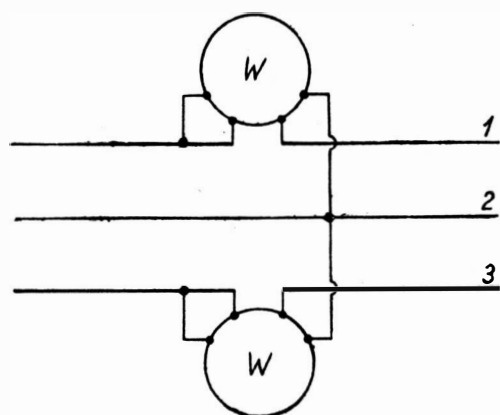


Fig. 194. — Esquema de conexiones para medir la potencia en una red trifásica, empleando dos wattímetros.

si la carga está formada por resistencias puras. En caso de haber reactancias inductivas y capacitivas conectadas, no es posible hacer la medición con esos aparatos.

Se recurre entonces al wattímetro (ver figura 192) conectando además frecuentemente el voltímetro y el amperímetro a efectos de calcular el factor de potencia.

La ampliación del campo de medida se hace en la forma recomendada para corriente alterada, es decir mediante transformadores de medida.

Debe cuidarse, al conectar wattímetros, que entre la bobina de tensión y la de intensidad no haya una diferencia de potencial importante, pues se presentan fenómenos de naturaleza electrostática que provocan errores en la medición. En el caso de conectar transformadores de medida, se recomienda unir entre sí los dos núcleos, mediante un conductor.

Para determinar el factor de potencia, se leen las escalas del wattímetro, del voltímetro y del amperímetro, y con ellas se aplica la fórmula:

$$\cos \varphi = \frac{W}{EI}$$

deducida directamente de la expresión de potencia

en corriente alterada.

Medición de potencia trifásica

En circuitos equilibrados en estrella. — Cuando una red en estrella está equilibrada y es simétrica, es decir que sus tres tensiones e intensidades están defasadas de 120° y son iguales entre sí, la potencia total es igual a la de una fase multiplicada por tres.

Si se conecta un wattímetro como se indica en la figura 193 su lectura da la potencia de una sola fase, y para tener la total se debe multiplicar por tres:

$$W = 3 w$$

siendo w la lectura del wattímetro.

Si además de leer potencia se toma la tensión y la intensidad de la fase, se puede calcular el factor de potencia del sistema trifásico, como si se tratara de un monofásico:

$$\cos \varphi = \frac{W}{EI}$$

En circuitos equilibrados y desequilibrados en triángulo. — Si el sistema trifásico tiene sus tres tensiones simétricas y el desequilibrio entre las corrientes no es muy grande, se puede medir la potencia mediante el *método de los dos wattímetros*.

Se utilizan dos wattímetros monofásicos, que se conectan en la forma indicada en la figura 194. Las dos bobinas de intensidad se conectan en dos fases quedando libre la tercera y concurriendo a ella los bornes de las dos bobinas de tensión.

Y finalmente, puede medirse directamente la potencia de un circuito trifásico mediante un wattímetro trifásico, cuyas conexiones ya conocemos (figura 79).

Como se ve, la medición de potencia en circuitos trifásicos es un problema que debe adecuarse al tipo de red, al tipo de carga y al tipo de instrumental disponible. Se diferencian así netamente tres casos, tal como ha sido descrito, y antes de hacer la medición debe determinarse en cuál de ellos se está ubicado.

Día 15

Estamos llegando al final de este libro y nos falta abordar el tema referente a la búsqueda de fallas en las instalaciones, paso necesario para proceder a la reparación de las mismas cuando tal cosa sea posible. Claro, si un motor tiene deteriorado su bobinado hay que hacerlo rebobinar y ella es, generalmente, tarea para un bobinador y no para un electricista. Pero si hay un cable deteriorado en una instalación, el electricista debe localizarlo y proceder a cambiarlo. Algunas cuestiones que se explicarán son concernientes a la instalación en si además de servir para la búsqueda de fallas. Tal sería el caso de la identificación de cables en manojos múltiples, situación que se presenta tanto en la instalación como en la revisión de la misma. Lo esencial es que el lector haya llegado al fin del libro con una idea clara sobre la electricidad y sus fenómenos, los que lo habrán conducido a entender el funcionamiento de generadores, motores y transformadores. Luego habrá asimilado el tema sobre instalaciones eléctricas, su trazado y ejecución y ahora tiene el tema de la revisión. Con todo ello estará en condiciones de lanzarse a la práctica efectiva para adquirir la experiencia necesaria que es el complemento indispensable en toda profesión. Abordemos pues el tema de la última jornada de nuestra labor.

FALLAS Y REPARACIONES

Todo artefacto eléctrico, o instalación de cualquier índole, puede presentar tres tipos fundamentales de fallas, perfectamente definidos tanto en lo que se refiere a la forma de encontrarlas como al remedio inmediato: *circuitos cortados, circuitos a masa y cortocircuitos*. Cada una de ellas exige métodos distintos para buscarlas y tratarlas, pero generalmente la revisión completa de una instalación o artefacto requiere comprobar si existen las tres cosas.

El electricista debe estar en condiciones de hacer las pruebas necesarias para determinar cuál es el tipo de falla cada vez que el servicio de un determinado artefacto o instalación se interrumpe. Conviene en tales casos dejar sin tensión la instalación o ramal que revisa, para lo cual procederá a abrir el interruptor general o seccional correspondiente. Luego procederá de acuerdo a las normas que siguen para los tres tipos de pruebas a realizar.

Circuitos cortados

Una línea, un alambre de una resistencia, un conductor de un bobinado, etc., pueden cortarse

en lugares donde no se ve a simple vista el corte. Pero un indicio evidente de que hay una interrupción es que no circula corriente cuando se aplica tensión al circuito cerrado.

Para verificar si pasa o no corriente se puede conectar un amperímetro, en la forma como se vio en la figura 169 pero lo más simple es aplicar una lámpara de prueba, cuyo esquema se ve en la figura 195. Se trata de conectar en serie con el artefacto dudoso una lámpara común, cuya tensión indicada sea igual a la que hay en la red. Conectando la serie a la red y aplicando las puntas de prueba a los dos bornes del artefacto, puede suceder que la lámpara encienda con pleno brillo, con brillo reducido o que no encienda.

Si la lámpara enciende a pleno brillo, es porque el artefacto está en cortocircuito, luego estamos en una falla de tercera categoría. Si la lámpara enciende con brillo rebajado, el artefacto puede estar bien. Y finalmente, si la lámpara no enciende es porque el artefacto está cortado, y se trata de la falla de primera categoría que mencionamos al principio.

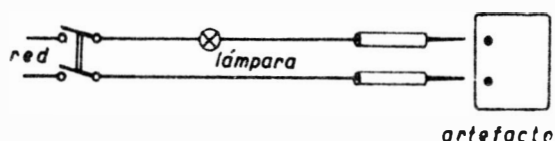


Fig. 195. - Puntas o lámpara de prueba.

Si se trata de circuito cortado habrá que hacer la reparación, que consistirá en colocar un conductor nuevo, si es que el corte no está directamente en el extremo, pues no siempre se puede hacer una junta. Si se trata de una línea, y el corte se ha producido fuera de una cañería, puede hacerse la unión nueva pero no dentro de las cañerías. Si se trata de un bobinado, puede hacerse una junta

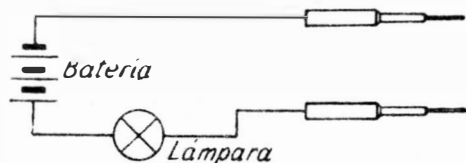


Fig. 196. - Esquema de la serie alimentada con una batería.

bien soldada, aislarla, y volver a bobinar. Una resistencia de calefacción no se puede añadir en forma perfecta, de modo que habrá que usar alambre nuevo.

No es indispensable disponer de la red de distribución para hacer una serie, pues se la puede improvisar en forma más simple, con una batería y una lamparita, como se ve en la figura 196. Se trata de reemplazar la línea por la batería, y la

lámpara de gran potencia por una lamparita de linterna, de la tensión indicada en la batería. Así, para baterías de 4,5 Volt, se emplearán lamparitas de la tensión más cercana que es 4,6 Volt.

El uso de la serie de batería es el mismo que el que describimos antes, pero tiene otras aplicaciones que veremos más adelante, de modo que forma un verdadero instrumento indicador.

Circuitos a masa

Segundo tipo de falla, que significa que la aislación no está en buenas condiciones. La masa puede ser franca o no, según se produzca un contacto neto entre el conductor y la masa o se trate de un deterioro del material aislador, que ha perdido gran parte de su resistencia de aislamiento.

Se impone una prueba de aislación que se hará con voltímetro o con megóhmetro, según se ha visto. Ya sabemos que el mínimo recomendado para aislación es 1.000 Ohm por cada Volt de la tensión de servicio. Distinguiremos si se trata de instalaciones o artefactos eléctricos.

Una instalación se prueba en la forma indicada en la figura 197. Hay cuatro operaciones sucesivas. Primero se abre el interruptor general de la instalación y quedan disponibles para la prueba sus dos bornes; si se trata de corriente continua o alternada monofásica; si es trifásica habrá tres bornes. Las cuatro operaciones sucesivas son:

1) *Prueba de toda la instalación contra tierra.* Para ello se conectan todos los artefactos, lámparas, etc., cerrando sus interruptores individuales. Se conecta uno de los bornes a cualquiera de los dos puntos del interruptor general y el otro borne a tierra según indica el esquema a. La tierra puede tomarse de la misma cañería de la instalación, de

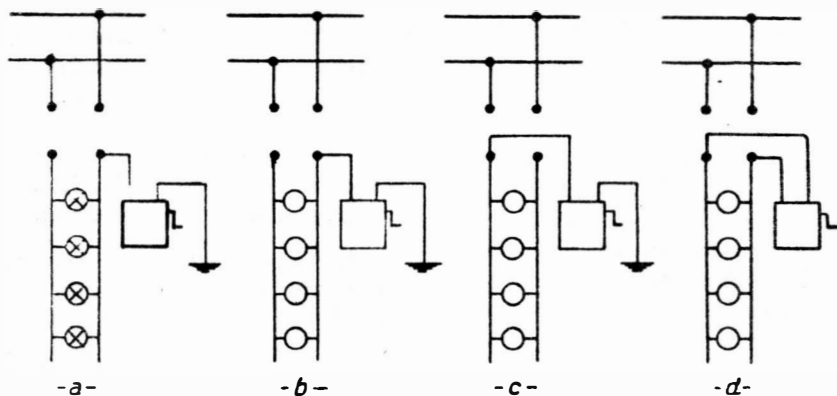


Fig. 197. - Indicación de las pruebas para comprobar la aislación en una instalación eléctrica.

una cañería de agua, de gas, etc. Se maneja el megóhmetro y se hace lectura.

2) *Prueba de un conductor contra tierra.* Se desconectan todos los artefactos abriendo sus llaves individuales, y se conecta el megóhmetro entre un borne de la llave general y tierra según indica el esquema b. Se hace lectura en el aparato.

3) *Prueba del otro conductor contra tierra.* En la misma forma como con el conductor anterior, se pasa la conexión del megóhmetro al otro borne de la llave general según indica el esquema c. Se hace lectura.

4) *Prueba de aislación entre conductores.* Se conectan los dos bornes del megóhmetro a los dos de la llave general, sin conexión a tierra, según el esquema d. Se maneja el aparato y se hace lectura. Los artefactos siguen desconectados.

Si algunas de las operaciones anteriores indicara aislación baja, se siguen lo mismo las cuatro, pues pueden hacerse deducciones que ayuden a encontrar rápidamente la falla. Luego se procede a desconectar todos los ramales, y probar en la misma forma cada uno de ellos hasta dar con el que tiene mal la aislación, para cambiar los conductores del mismo.

En instalaciones trifásicas las pruebas b, c y d se deben hacer para cada conductor, es decir que habrá tres pruebas entre borne y tierra y tres entre dos conductores inmediatos. Si se dispone de conductor neutro, se tiene una buena tierra que permite conectar el megóhmetro, pero hay que verificar previamente si está efectivamente a tierra.

El caso de las *máquinas eléctricas* se resuelve en forma similar al de las instalaciones, sólo que no existe la prueba entre bornes, pues daría circuito cerrado ya que hay un bobinado conectado entre esos dos bornes.

Supongamos un motor de corriente continua, según ilustración de la figura 198 con cuatro bornes, dos del inducido y dos del inductor. Además

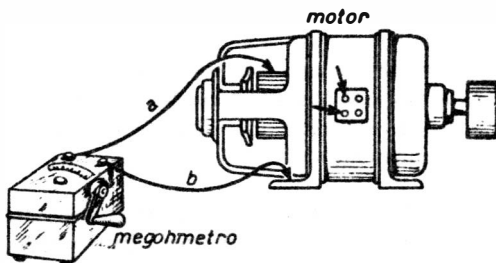


Fig. 198. — Indicación de las pruebas para comprobar el aislamiento en un motor eléctrico.

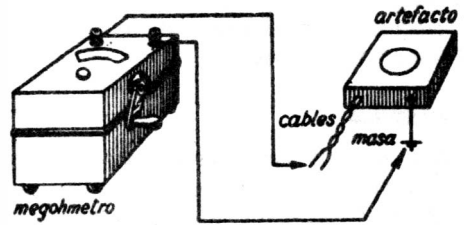


Fig. 199. — Forma de revisar la aislación de un artefacto con el megóhmetro.

se dispondrá de un borne de masa, que puede ser cualquiera de los bulones que hay en la carcasa, procurando elegir uno que haga buen contacto a masa.

Con el megóhmetro haremos las siguientes operaciones: uno de sus terminales, el b en la figura, lo conectamos directamente al tornillo de masa en la carcasa. El otro terminal, el a en la figura, lo usamos para tocar el colector, uno de los bornes del inducido y uno de los bornes del campo, en cada una de cuyas operaciones haremos funcionar el megóhmetro y haremos lecturas. Las escobillas deben estar levantadas en esa operación, para discernir si la falla está en el inducido mismo o en la caja de bornes. Puede ser que esté a masa, en forma franca o parcial, el bobinado del inducido, el campo o los bornes de la máquina.

Si un bobinado está a masa hay que desconectar sus diversas secciones y volver a probar con el megóhmetro, para saber cuál de ellas es la que tiene la falla y cambiar esa sección.

En la misma forma se procedería con los motores de alternada, con los generadores, transformadores etc., probando siempre con el megóhmetro entre cada borne vivo y la carcasa. Finalmente, se busca cuál es el bobinado con falla y se hace la reparación correspondiente.

Si se trata de un artefacto eléctrico las pruebas son las mismas, pues se debe verificar si no está a masa ninguna parte de su circuito eléctrico.

En la figura 199 se ve un artefacto eléctrico que puede ser un calentador o una cocina. Es evidente que lo mismo se procedería si se tratara de otra cosa. Generalmente tienen un cable de dos conductores que sirven para conectarlo a la red, o dos bornes a tornillo para conectar esos dos cables.

La prueba de si hay circuitos a masa consiste en conectar el megóhmetro en la forma que indica la figura, tocando un borne de masa y uno de los vivos, primero uno y luego otro. La razón que obliga a probar con los dos bornes vivos es que puede haber llaves que eliminen o abran parte del circuito y que harían que aunque esa parte está a

masa, el megóhmetro no lo acusaría. La indicación del megóhmetro es el estado de la aislación, y ya sabemos cómo interpretarlo.

Cortocircuitos

Tanto la serie como el megóhmetro pueden acusar la existencia de un cortocircuito entre los dos bornes vivos de un artefacto o instalación de cualquier tipo. La lámpara lo indica porque enciende a pleno brillo, y el megóhmetro porque indica resistencia cero entre sus bornes. En ambos casos hay que proceder a buscar el lugar donde está la falla.

Si es una instalación, se procederá a desconectar todos los ramales y probar nuevamente en cada uno hasta dar con el que tiene el cortocircuito. Si es una máquina eléctrica, se independizarán sus diversos bobinados, y se hará la búsqueda en cada uno con el mismo fin anterior.

Una vez que se ubicó la falla se procederá a repararla, cambiando la sección defectuosa, rebobinando la máquina o el transformador, etc. Los cortocircuitos son en cierto modo dobles fallas a masa, pues para que se unan entre sí los dos conductores vivos es necesario que fallen las aislaciones de ambos.

Identificación de pares de cables

Otro problema muy común en instalaciones eléctricas es tener varios conductores, embutidos en cañerías, subterráneas, dentro de cajas, etc., pero deben poder identificarse a fin de conectarlos en la forma más conveniente. Se presenta esto en los circuitos de campanillas con cuadro indicador, en los circuitos telefónicos, en la conexión de dispositivos de arranque o regulación para motores eléctricos y en una gran variedad de casos.

Generalmente el electricista dispone de un plano completo del conexionado, de modo que le resultará fácil hacer las uniones como corresponde, pero la cuestión es cuando tiene un montón de hilos que salen por un extremo de la cañería y otro montón que sale por el otro. La figura 200, da una idea de la situación, habiéndose representado sólo cuatro cables. Si se han empleado conductores de distintos colores se soluciona parte del

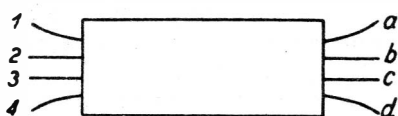


Fig. 200. — Esquema que muestra las puntas de entrada y salida de cables en una cañería.

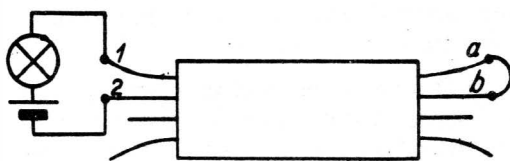


Fig. 201. — Forma de identificar los pares uniéndolos extremos de dos hilos.

problema, pero ello no siempre es posible.

Lo general es que haya que identificar conductores, asignando cuales extremos a, b, c ó d corresponden a los 1, 2, 3, ó 4 que se tienen en la otra punta de la instalación, pues es obvio que durante el trayecto no se puede afirmar que el que está más arrimado a la parte superior se mantendrá allí y saldrá en el otro extremo en la parte más alta.

Hay dos formas de proceder, que se pueden aplicar indistintamente, pero que también tienen sus diferencias, ya que hemos hablado en el título de: pares de conductores. Y esa es precisamente la diferencia. Si se desea separar el montón de hilos en pares que se correspondan en los extremos, sin interesar cual es uno u otro en cada par, es un asunto, pero si se desea también identificar a los dos hilos que forman el par, cambia la cuestión. Por tal motivo, se suelen utilizar dos métodos distintos, que llamaremos: por *cortocircuito* y por *masa*.

La figura 201 ilustra sobre el procedimiento de identificación de pares, o sea el método por *cortocircuito*. Consiste en unir dos cables cualesquiera entre sí en un extremo de la instalación, y buscar luego en el otro extremo, con la serie, cuales son los dos cables que presentan un cortocircuito. Una vez que se encontró el par de hilos que está en cortocircuito, se tiene separado un par, aunque ya sabemos que no están identificados entre sí, pues se ignora cual es el a o b que corresponden a los extremos 1 ó 2, en la figura 201.

Una vez separado un par se lo marca con tarjetas o cualquier otro procedimiento, y se lo separa del resto para seguir el trabajo. Se procede en la misma forma que antes: se unen otros dos hilos en un extremo y se buscan en el otro con la serie cuales son los dos hilos que están en cortocircuito, marcándolos luego.

Y así sucesivamente se procede con los demás pares hasta terminar el conjunto. Pero puede suceder que se trate de un número impar de conductores o de un número par. No hay ningún inconveniente, pues una vez que sólo nos queda uno o dos conductores sin marcar, sabemos que esas

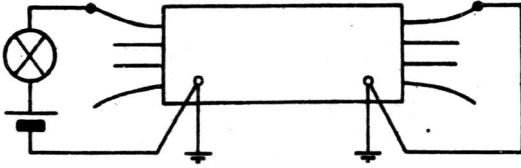


Fig. 202. — Forma de ubicar los pares uniendo un extremo a masa.

puntas sobrantes en ambos extremos de la instalación se corresponden entre sí.

Hacemos notar que si se debe identificar uno o varios cables aisladamente, este procedimiento no sirve, pues sólo permite agrupar los hilos de a pares. De modo que en tales casos, cuando se debe disponer de una identificación individual, debe recurrirse al otro procedimiento.

La figura 202 muestra el segundo método, llamado de identificación de hilos individuales o por *masa*. Como se ve en el esquema, consiste en utilizar la cañería de la instalación como retorno común o *masa*. Se une a masa en un extremo cualquier hilo y se busca en el otro extremo, con la serie, cual es el conductor que está a masa.

Claro está que se puede pensar que no haya masa disponible, por no haber cañería o por otras razones. En esos casos se reemplaza la masa por conexión a tierra, lo que puede hacerse en las cañerías de agua o de gas, o en cualquier forma que haya posibilidad de hacerla. Pero, aún puede llegarse a simplificar el procedimiento, si no se dispusiera de una masa o tierra cómoda empleando uno de los hilos como masa. Para ello se separa uno cualquiera de los conductores, que se reconozca por sus características distintas o por separarlo por el método anterior, en la forma que veremos.

Una vez que un cable hace las veces de masa, o se usa la masa verdadera, el procedimiento sigue en su forma habitual. Se identifica cada conductor y se lo marca, en cuanto en un extremo se lo haya unido a la *masa* y en el otro extremo se haya encontrado que está a masa, y así siguiendo hasta terminar con todos los conductores que haya.

Citamos recién que por el método de los pares puede identificarse un conductor, y vemos que en el caso que se desee emplear el hilo como masa, nos debemos valer de tal cosa. Veamos como se procede para discriminar entre los dos conductores de un par.

Sean dos pares de cables identificados perfectamente como pares, es decir sin identificación individual. Los supondremos numerados en un

extremo y con letras en el otro:

1	2	3	4
a	b	c	d

Por ahora sabemos que el par 1-2 y a-b es uno, y que 3-4 con c-d forman el otro par. Unamos en cortocircuito en ambos extremos el par 3-4 y c-d de manera que puede suponerse que forman un solo conductor. Si en esas condiciones se busca cual es el otro extremo del conductor 1, por ejemplo, está resuelto el problema. Para ello, si hemos elegido el 1 para identificar, unimos ese extremo con el punto común de los hilos 3-4, nos vamos con la serie al otro extremo, y buscamos cual de los dos hilos a y b están en cortocircuito con el par c-d que es un sólo cable, ya que fueron unidos. Así determinamos que el otro extremo de 1 es el a por ejemplo, con lo que nos queda identificado un conductor que será el: 1-a.

Revisión de transformadores

Uno de los aparatos eléctricos de más difusión es el transformador, y seguramente se le presentará al electricista la oportunidad de hacer algunas revisiones de los mismos. Claro está que no se tratará de un ensayo, sino de una simple comprobación de si funciona correctamente.

Las pruebas más comunes con transformadores son las siguientes: medición de la relación de transformación, verificación de la resistencia de aislamiento y comprobación de la temperatura de trabajo, pues las demás cuestiones quedan para los laboratorios técnicos.

Pasaremos revista a esas tres mediciones ordenadamente. Para medir la relación de transformación, si se conectan dos voltímetros en la forma que indica la figura 203 nos indicarán la tensión en los bornes del primario, que es la red, y la tensión en los bornes del secundario a circuito abierto, pues el consumo del voltímetro es absolutamente despreciable comparado con la corriente normal del

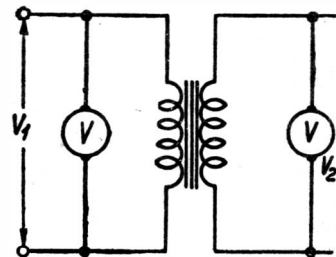


Fig. 203. — Forma de medir la relación de transformación en un transformador mediante dos voltímetros.

secundario. Desde luego que en transformadores de corriente secundaria muy reducida hay que elegir convenientemente el voltímetro a utilizar, de modo que tenga elevada resistencia interna.

Al no haber prácticamente caídas de tensión en ninguno de los dos devanados, puede suponerse iguales a las tensiones y las ff.ee.mm., con lo que el cociente de las indicaciones de los voltímetros será igual a la relación de transformación:

$$k = \frac{V_1}{V_2}$$

Haciendo notar que se suele especificar siempre el valor de k como cociente entre la tensión aplicada al transformador y la que se obtiene en el otro devanado, no interesando cual de ellas es mayor. Esto se apoya en el criterio que fija la denominación de *primario* al devanado que se conecta a la red de la que se extrae energía, y *secundario* es el devanado al cual se conecta la carga. Según la tensión primaria sea mayor o menor que la secundaria, se puede denominar al transformador como elevador o reductor de tensión respectivamente.

Al valor de k obtenido por el cociente anterior se le llama relación de transformación *ideal*, *teórica* o *propriadamente dicha*, y no debe confundirse con la relación de transformación real, que es el cociente de las tensiones primarias y secundarias, pero tomadas a plena carga. Este último valor resultará siempre mayor que el teórico o ideal, debido a que si bien la tensión primaria es la misma, la secundaria es menor cuando hay carga. En la práctica se evita la confusión, indicando expresamente en la denominación de k , la palabra *real*, cuando se refiere al cociente entre las dos tensiones bajo carga. Si no se indica aclaración alguna, es porque se trata de la relación de transformación teórica o ideal, cociente entre las dos ff.ee.mm. o entre las respectivas tensiones en vacío.

Los conductores que forman los dos o más bobinados que tenga el transformador deben estar bien aislados entre sí y con respecto al núcleo y caja metálica que contiene el conjunto. Si la aislación entre espiras y capas del bobinado es defectuosa, se altera la relación de transformación real del transformador; si ese defecto es un cortocircuito franco entre espiras o grupos, también se altera la relación de transformación teórica. Todos estos detalles son revelados por el ensayo de las respectivas relaciones.

Pero si la aislación entre el bobinado y la masa, o entre ambos bobinados es defectuosa, las mediciones recién mencionadas pueden acusar valores correctos, y el defecto se traduce en pérdidas de

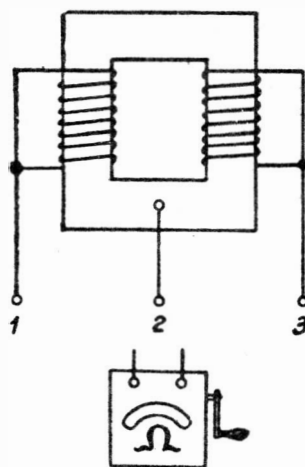


Fig. 204. - Prueba de aislación de los bobinados de transformador contra masa mediante el megóhmetro.

corriente a masa, peligro para el usuario, etc. Por ello conviene verificar el estado del aislamiento al estudiar la recepción de un transformador.

La medición de la resistencia de aislación se efectúa en la forma conocida que se estudió anteriormente. Un voltímetro de alta resistencia interna puede servir, o más correctamente, un megóhmetro o indicador directo de altas resistencias. Como lo que interesa es la aislación entre todo el devanado y la masa metálica, conviene uniformar el potencial en toda la bobina, por lo que se la conecta en cortocircuito, tanto el primario como el secundario, según se ve en la figura 203. La medición debe hacerse entre los puntos 1 y 2 entre los 1 y 3 y entre los 2 y 3, para verificar el estado entre cada bobinado y masa entre ambos bobinados (ver figura 204).

Para medir correctamente el aislamiento debe emplearse una tensión que en ningún caso sea inferior a la normal de servicio, pues los defectos que aparecen cuando se aplica tal tensión pueden no aparecer con tensiones más bajas. Hay normas que especifican cuáles deben ser las tensiones para estas pruebas.

La prueba de aislación suele acompañarse de otra que indique el estado interior de las bobinas. Para ello se aplicará al transformador con secundario abierto una tensión doble que la normal durante cinco minutos, según las mismas normas citadas anteriormente. Con esto se duplica la tensión entre espiras y entre capas.

Durante el funcionamiento, puede suceder que la elevación de temperatura sea mayor que la prevista en el diseño, por lo que debe ser verificada. Hay tres partes cuya temperatura interesa determi-

nar: los bobinados, el núcleo y el aceite en que está sumergido el conjunto. En transformadores al aire, sin aceite, la última parte desaparece de las especificaciones.

Si la temperatura del aceite es la correcta, pero la del núcleo es excesiva, es porque la superficie de contacto entre ambos elementos es insuficiente. Si la del aceite es excesiva, se trata de insuficiente superficie externa de irradiación. Y si la temperatura de los bobinados es excesiva, puede deberse a sección insuficiente, a sobrecarga, o a superficie de enfriamiento de los mismos inenor que la necesaria. No contemplaremos aquí los medios de corregir los inconvenientes mencionados por corresponder al diseño.

Las normas especifican las temperaturas límites o el exceso de temperatura sobre el ambiente, tolerados para cada tipo de material usado en la construcción de transformadores, pues es evidente que si el material aislador es papel, tela, algodón, etc., variarán las temperaturas admisibles por los mismos. La tabla adjunta da los límites mencionados.

Temperaturas máximas para transformadores

Parte del transformador	Temperatura límite °C
Bobinados con aislación de papel, algodón o seda, sin impregnar	85
Los mismos materiales, pero impregnados .	95
Los mismos materiales, pero sumergidos en aceite	105
Bobinados desnudos en una sola capa . . .	120
Núcleos de hierro, al aire	95
Núcleos de hierro, en aceite	105
Aceite, en su capa superior.	95

Todo lo dicho para transformadores podría extenderse a las máquinas eléctricas, pues se trata de similitudes marcadas. En efecto, salvo lo que se refiere a la relación de transformación, podemos aplicar a las máquinas, sean motores o generadores, las pruebas de aislación y temperatura. Pero a ello nos hemos referido en parte anteriormente, de manera que sería insistir.

Cualquier otra prueba o revisión de artefacto o instalación eléctrica debe ser tratada en forma similar a las vistas, procediendo de acuerdo a las especificaciones hechas en las distintas oportunidades de ocuparnos del tema.

Por similitud con cuestiones tratadas se resuelven los casos no considerados, pues es fácil comprender que es imposible enumerar todos los aparatos eléctricos en uso ahora y en el futuro.

Fallas de cables

Hemos visto la revisión de instalaciones eléctricas y de ellas el caso particular de que se produjera una falla en la aislación de un conductor de la línea. En general, al encontrar un conductor fallado se lo cambia en todo el tramo que va de caja a caja, pues no deben hacerse empalmes dentro de las cañerías. Si se trata de una línea aérea, puede hacerse el empalme en el lugar de la falla.

Pero hay un caso en el cual el deterioro producido en un lugar no se puede localizar muy fácilmente y es el caso de los cables subterráneos. En ellos se producen fallas de aislación entre hilos vivos o entre esos hilos y la masa, que es la envoltura de plomo que contiene a los conductores en su interior. Si el cable es de corta longitud y acusa una falla, se lo cambia en su totalidad, pero si es largo, un centenar de metros o más, es más económico buscar el lugar de la avería, cortar el cable y colocar en ese lugar un empalme torpedo, que permite aislar bien los conductores entre sí y con respecto a la envoltura metálica.

Pero hay un problema que se presenta y es el de ubicar el lugar de la falla en tal cable que está enterrado y por lo tanto ni siquiera permite una inspección ocular. Entonces surge la necesidad de medir la resistencia del tramo del cable desde el arranque hasta el punto con la falla. Hay dos casos: si hay un corto entre dos hilos del cable, mediremos la resistencia del tramo de ida y vuelta y luego lo dividiremos por dos. Si hay una fuga franca a tierra, medimos la resistencia entre el cable fallado y tierra y eso es un tramo simple, pues la tierra presenta resistencia muy baja. Como esta medición es dudosa, conviene seguir otro método que explicaremos más adelante.

Comencemos por explicar que para estas determinaciones de fallas en cables suelen usarse los

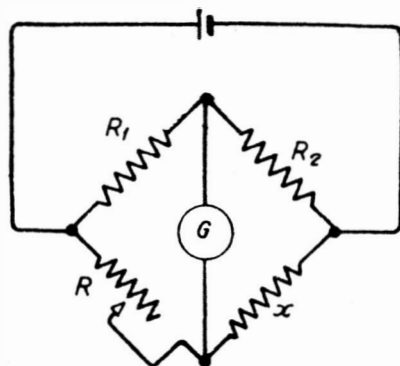


Fig. 205. -- Esquema de conexiones del puente de Wheatstone.

puentes de medición, a fin de obtener precisión en el valor que necesitamos para determinar la distancia, pues en caso contrario podríamos tener errores de varios metros en la ubicación de la falla.

Para medir resistencias con más precisión, se emplea un circuito como el ilustrado en la figura 205, llamado *punto de Wheatstone*, que tiene dos resistencias fijas conocidas, una resistencia variable conocida y la resistencia desconocida. Además, se emplea una pila y un galvanómetro. Este aparato no es otra cosa que un amperímetro muy sensible, capaz de acusar corrientes del orden de los milésimos y aún de los millonésimos de Amper.

En la figura se indica con R_1 y R_2 a las dos resistencias fijas conocidas; con R a la resistencia variable cuyo valor se conoce para cada posición del cursor; con X a la resistencia desconocida y con G al galvanómetro.

Si se cierra el circuito, se observa que el galvanómetro desvía su aguja, pero corriendo el cursor de R hacia un lado o hacia otro se llega a un punto en el cual el galvanómetro indica cero, y se dice que el puente está equilibrado. En tales condiciones, el valor de la resistencia desconocida es:

$$X = \frac{R_2 R}{R_1}$$

Es decir, igual al producto de sus dos ramas adyacentes dividido por la resistencia que le es opuesta. Como conocemos las tres resistencias del segundo miembro, queda determinado el valor de la desconocida.

Pero a veces no se dispone de resistencias variables graduadas por lo que se puede recurrir al *punto de hilo*, cuyo esquema se da en la figura 206. Se han substituído las dos resistencias fijas por un hilo conductor, junto al cual se pone una regla o cinta centimetrada (una cinta de costurera

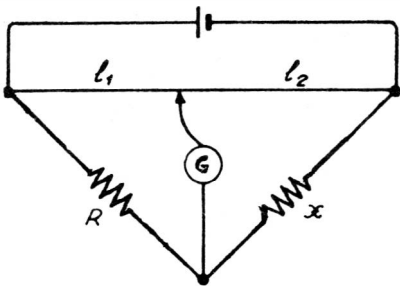


Fig. 206. — Esquema del puente de hilo, similar al anterior, pero más simple.

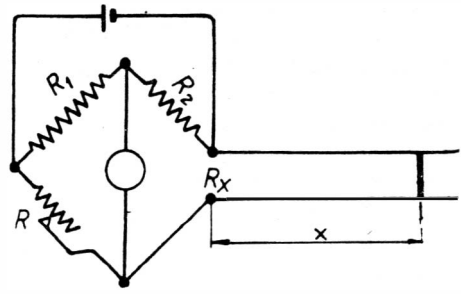


Fig. 207. — Esquema de conexiones para la localización de un cortocircuito en una línea larga.

puede servir), a efectos de saber las distancias desde cada extremo hasta el contacto deslizante. Una resistencia R es fija y de valor conocido; la resistencia desconocida es X , y se usa el mismo galvanómetro y la pila del circuito anterior.

Sobre el hilo conductor se desliza un contacto de pinzas, buscando el punto en el cual el galvanómetro indique cero, para equilibrar el puente. Conseguido esto, y llamando l_1 y l_2 a las distancias en cm, entre el cursor y los extremos del hilo, el valor de la resistencia desconocida es:

$$X = \frac{l_2 R}{l_1}$$

Con lo que se ve que el puente de hilo es más práctico que el de Wheatstone, en lo que respecta a la sencillez de componentes.

Localización de las averías

Aclarado entonces el punto de que estamos tratando fallas en líneas o cables subterráneos de longitud importante, como para que no se piense en cambiar todo el largo sino arreglar el trozo deteriorado, veamos la manera de localizar el punto de avería.

Entonces una vez que se sabe que hay una tierra o un cortocircuito hay que proceder a localizar ese defecto para repararlo. Tenemos dos casos distintos: el de cortocircuito y el de la tierra por falla de aislación.

En el caso del cortocircuito se puede localizar la falla mediante el circuito de la figura 207. La línea o cable se ha dibujado con dos líneas paralelas, en un punto de las cuales hemos unido ambas con una raya gruesa: el cortocircuito. Disponemos de los dos bornes donde arranca la línea y ahí conectamos un puente de Wheatstone en el cual la línea forma la resistencia desconocida.

En el puente se puede determinar el valor de la

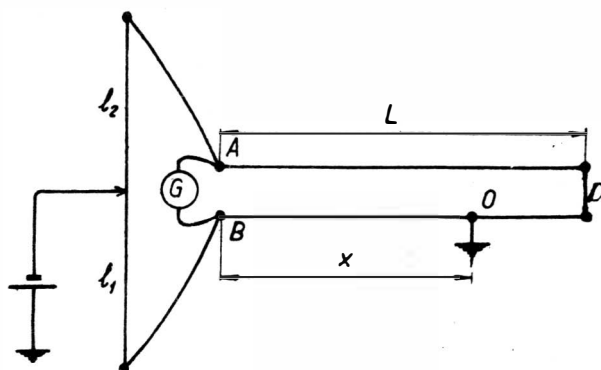


Fig. 208. — Esquema de conexiones para localizar una fuga a tierra en una línea larga.

resistencia desconocida, que en el caso de la figura 207 vale:

$$R_x = \frac{R_2 R}{R_1}$$

Una vez conseguido el equilibrio. Lo que interesa es saber qué resistencia hay entre los dos bornes de la línea, y esa resistencia la llamamos R_x , y se ve en la figura que está formada por dos conductores, uno de ida y otro de vuelta, cada uno con longitud que llamamos x , pues es la distancia que queremos conocer. La línea tiene una sección S en cada conductor, y el material es de una resistividad ρ . Luego, aplicando conocimientos vistos, se tiene:

$$x = \frac{R_x S}{2 \rho}$$

Es decir que la distancia desde el comienzo de la línea hasta el cortocircuito es igual al producto de la resistencia de la línea (en Ohm) por la sección de cada conductor (en mm^2) dividido por el doble de la resistividad.

Si la línea es de cobre, cosa muy común, se puede simplificar la fórmula, pues la resistividad del mismo vale 0,0175, y se tiene:

$$x = \frac{R_x S}{0,035}$$

Que nos da la distancia en metros hasta la falla, igual que la fórmula anterior.

Si la falla se trata de una fuga a tierra, el procedimiento es algo parecido, pero se sigue el esquema de la figura 208. Se conecta un puente de hilo, entre los dos bornes A y B de la línea, y se unen los otros dos extremos finales de la línea, es decir, se hace un cortocircuito en el extremo D , final de la línea. Claro está que se la habrá desconectado de servicio para hacer esto. La tierra está producida en el punto O , cuya distancia hasta el comienzo B queremos determinar. Esta distancia la llamamos x . La longitud total de la línea es L , conocida en metros.

Una vez que se ha corrido el cursor del puente y obtenido el equilibrio, se tiene que ese cursor ha quedado a una distancia l_1 del extremo inferior y otra distancia l_2 del extremo superior, ambas en cm. Conocidas esas dos medidas, se aplica la fórmula:

$$x = \frac{2 L l_1}{l_1 + l_2}$$

Que da la distancia x en metros, cuando se toman L en metros y las dos longitudes del hilo en cm (pueden tomarse las dos en metros, también). Como generalmente, en los puentes comunes se conoce siempre la longitud total del hilo, y en el denominador de la fórmula aparece la suma de los dos trozos de hilo, es evidente que se puede poner ahí la longitud total del hilo del puente.

Una vez ubicadas las fallas, sean tierras o cortocircuitos, se mide la distancia encontrada, a partir del extremo de la línea, y se está en condiciones de reparar la línea.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>		<u>Pág.</u>
Día 1 – NOCIONES DE ELECTRICIDAD . . .	5	Día 5 – CORRIENTE ALTERNADA	45
Electrostática	6	Circuitos de corriente alternada	46
Potencial eléctrico	8	Ley de Ohm para corriente alternada	48
Influencia eléctrica	9	Potencia de la corriente alternada	50
Electricidad atmosférica	9	Circuitos trifásicos	50
Capacidad eléctrica. Capacitores	10	Potencia en sistemas trifásicos	52
Acoplamiento de capacitores	10		
La corriente eléctrica	12	Día 6 – ALTERNADORES Y MOTORES	
Conducción de la electricidad	12	SINCRONICOS.	53
Intensidad de corriente	12	Alternadores	53
Resistencia eléctrica	13	Estator	54
Ley de Ohm	13	Rotor	54
Cálculo de la resistencia	14	Carcasa	55
Resistividad de algunos conductores	14	Bobinado del estator	55
Acoplamiento de resistencias	15	Bobinados en cadena	56
		Motores sincrónicos de corriente alternada	58
Día 2 – ENERGIA ELECTRICA	17		
Potencia eléctrica	18	Día 7 – MOTORES PARA ALTERNA	61
Unidades prácticas	18	Motores asincrónicos de inducción	61
Ejemplos prácticos	19	Principio de funcionamiento	62
Transformación de la electricidad en calor	20	Rotor	62
Variación de la resistencia con la temperatura	21	Bobinados de motores de inducción	63
		Bobinados imbricados	64
Día 3 – ELECTROMAGNETISMO.	23	Bobinados ondulados	65
Magnetismo producido por la corriente eléctrica	24	Conexiones a la caja de bornes	66
Bobinas o solenoides	24	Bobinados del rotor	66
Imantación de núcleos de hierro	25	Motores monofásicos de inducción	67
Histéresis magnética	26	Bobinados del estator de motores monofásicos	69
Electroimanes	27	Motores universales o de ambas corrientes	69
Inducción electromagnética	27	Motores monofásicos de repulsión	72
Autoinducción	28	Motores de repulsión-inducción	74
Bobina de Ruhmkorff	28		
Día 4 – GENERADORES Y MOTORES DE		Día 8 – TRANSFORMADORES	77
CONTINUA.	31	Cálculo de transformadores	78
Colector o conmutador	33	Apreciación de la potencia del primario	78
Diseño práctico de dinamos	33	Determinación de la sección transversal del	
El inductor o circuito magnético	34	núcleo	78
Conexiones de los bobinados inductores	35	Determinación del número de espiras del pri-	
Bobinado del inducido	38	mario	79
Bobinados imbricados	40	Número de espiras del secundario	80
Bobinados ondulados	40	Sección de los alambres	81
Motores de corriente continua	42	Dimensiones del resto del transformador	81
		Pérdidas en los núcleos de hierro	82

Pérdidas por histéresis	82	Día 12 – INSTALACIONES DE LLAMADA . 117
Pérdida por corrientes parásitas	83	Campanillas
Pérdidas totales en el núcleo.	83	Cuadros indicadores
Día 9 – ELECTROQUIMICA. PILAS 87		Esquemas de conexiones
Algunas nociones de Química	87	Disposición de la instalación
Par voltaico. Pila de Volta	88	Instalación con anulación remota
Polarización de la pila	89	Día 13 – INSTALACIONES DE FUERZA
Despolarizante	90	MOTRIZ 125
Pila seca	90	Motores de corriente continua.
Constantes de una pila	90	Regulación de velocidad
Circuitos con pilas. Acoplamientos	91	Motores de corriente alterna.
Día 10 – ACUMULADORES ELECTRICOS . 93		Instalaciones de bombas
Electrólisis del agua acidulada	93	Disposición de la instalación de fuerza motriz
Acumulador de plomo. Principio de funciona- miento	94	Líneas eléctricas
Formación de las placas	95	Sección de los conductores
Electrolito para acumuladores.	97	Caso de las líneas largas
Régimen de carga y descarga.	98	Día 14 – MEDICIONES ELECTRICAS. 133
Rendimiento del acumulador	99	Amperímetros
Carga a tensión o a corriente constante.	99	Voltímetros
Formas de cargar la batería	100	Wattímetros
Acumuladores alcalinos	100	Frecuencímetros
Día 11 – INSTALACIONES ELECTRICAS		Fasímetros
DE ILUMINACION. 103		Conexión de medidores
Instalaciones de iluminación.	103	Esquemas para mediciones.
Lámparas incandescentes y de vapores metálicos	104	Medición de resistencias de aislamiento
Tubos de neón.	104	Medición con óhmetros
Tubos fluorescentes.	105	Medición de potencia en continua
Proyecto de la instalación de iluminación	106	Medición de potencia monofásica.
Esquemas de conexiones.	107	Medición de potencia trifásica.
Disposición de la instalación.	111	Día 15 – FALLAS Y REPARACIONES 145
Tableros	113	Circuitos cortados.
Consideraciones adicionales	114	Circuitos a masa.
		Cortocircuitos.
		Identificación de pares de cables
		Revisión de transformadores.
		Fallas de cables
		Localización de averías.

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

Copyright © by FRANCISCO L. SINGER

IMPRESO EN LA ARGENTINA

PRINTED IN ARGENTINA

LA MAS MODERNA COLECCION DE LIBROS TECNICOS SIMPLIFICADOS AL ALCANCE DE TODOS

**por CHRISTIAN GELLERT con la dirección técnica
del ING. FRANCISCO L. SINGER**

APRENDA ELECTRICIDAD EN 15 DIAS

Conocimientos básicos de la Electricidad para aprender Radio y Televisión.

APRENDA ELECTROTECNICA EN 15 DIAS

Una descripción práctica de aparatos, motores, generadores e instalaciones eléctricas.

APRENDA RADIO EN 15 DIAS

Este libro lo guiará en la teoría y el armado de un receptor modelo.

APRENDA SERVICE DE RADIO EN 15 DIAS

Paso a paso aprenderá a revisar, reparar y calibrar todos los radio-receptores.

APRENDA TELEVISION EN 15 DIAS

Describe un aparato de televisión al mismo tiempo que le enseña a construirlo.

APRENDA SERVICE DE TV EN 15 DIAS

Cuadros prácticos y una guía para todos los que se dedican a reparar televisores.

APRENDA TV-TRANSISTOR EN 15 DIAS

Explica la teoría y la práctica del televisor transistorizado.

APRENDA HI-FI Y ESTEREO EN 15 DIAS

Toda la amplificación del sonido con circuitos, tablas, gabinetes y ambientación.

APRENDA GRABADORES EN 15 DIAS

Teoría, funcionamiento, uso y reparaciones de los grabadores a cinta magnética.

APRENDA FM Y MULTIPLEX EN 15 DIAS

Para escuchar estereofonía por radio con la más alta fidelidad conocida.

APRENDA VALVULAS Y TUBOS EN 15 DIAS

Teoría, funcionamiento y reemplazos de las válvulas y tubos de imagen.

APRENDA TRANSISTORES EN 15 DIAS

Teoría y práctica de los semiconductores con circuitos y datos para el uso.

APRENDA SERVICE-TRANSISTOR EN 15 DIAS

Revisión y reparación de toda clase de equipos transistorizados.

APRENDA MOTORES EN 15 DIAS

Todos los motores a vapor, a explosión y diesel explicados en teoría y práctica.

APRENDA MATEMATICAS EN 15 DIAS

Para manejar números y letras, realizar cálculos y entender fórmulas técnicas.

APRENDA ELECTRONICA EN 15 DIAS

Modernas aplicaciones de esta ciencia en la industria, el automotor y la vivienda.

APRENDA INSTRUMENTAL EN 15 DIAS

Los aparatos más usados en Radio y TV con sus circuitos y explicaciones.

APRENDA TRANSMISION EN 15 DIAS

Para armar, ajustar y usar receptores y transmisores de aficionados.

APRENDA FISICA EN 15 DIAS

Todos los fenómenos que se operan en los cuerpos y leyes que los rigen.