

BIBLIOTECA PROFESIONAL
Director: RENATO OROMBEZ

MANUAL
DEL
ELECTRICISTA

DEFINICIONES CONCEPTOS-DIAGRAMAS
ALTERNADORES TRANSPORTES EN CORRIENTE

1908

A. CURCHOD

SAW EDITORES, S. A.

S.G-11

7-60

B.P. de Soria



61112152

D-2 980



C°

BIBLIOTECA PROFESIONAL

MANUAL
DEL
ELECTRICISTA

**ESTACIONES CENTRALES-DÍNAMOS
ALTERNADORES-TRANSPORTES
DE ENERGÍA**





R. 2112

$\frac{6}{26}$

BIBLIOTECA PROFESIONAL

PUBLICADA BAJO LA DIRECCIÓN DE

M. RENATO DHOMMÉE

Inspector general adjunto de la Enseñanza técnica

V. A.

MANUAL DEL ELECTRICISTA

ESTACIONES CENTRALES - DÍNAMOS
ALTERNADORES - TRANSPORTES DE ENERGÍA

POR

Adr. CURCHOD

Ingeniero electricista (E. S. E.)

Profesor de la Escuela de Electricidad y de Mecánica Industrial
del Instituto profesional de Inválidos de la Guerra
y de la Escuela de Obras públicas

SEGUNDA EDICIÓN

Ilustrada con 114 figuras intercaladas en el texto

SALVAT EDITORES, S. A.

BARCELONA - BUENOS AIRES

1937



A. 5112

BIBLIOTECA PROFESIONAL

MANUAL

ELECTRICISTA

BY CENTRAL ELECTRICITY BOARD

ES PROPIEDAD

Printed in Spain

REV. CURCHOD

CAPÍTULO PRIMERO

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

A. — GENERALIDADES

Objeto de este capítulo

Todo electricista encargado del entretenimiento y vigilancia de una estación central eléctrica, de la reparación de una línea o del montaje de una instalación, debe conocer los principios sobre los cuales se basan los diversos órganos de una instalación eléctrica, para estar a la altura de su cometido. Por esta razón hemos creído conveniente hacer preceder el estudio de las cuestiones tratadas en esta obra de algunas consideraciones generales sobre la electricidad.

Para comprender el carácter necesariamente científico de estas consideraciones, que nos esforzaremos en exponer de la manera más sencilla posible, importa mucho recordar que la técnica deriva de la ciencia : préstale ésta sus experiencias y sus leyes, y toma aquélla todo aque-

llo que puede utilizar para mejorar nuestro bienestar y nuestro *confort*: sin ciencia no existiría técnica. En electricidad, más que en ninguna otra parte, existe esta estrecha relación entre la ciencia y la técnica, y no tememos afirmar que para emprender el estudio de la electricidad precisa realizar un serio esfuerzo, estudio aquél que entraña el de los principios de la electricidad. Es preciso aportar a este estudio un espíritu ávido de precisión y no opuesto al conocimiento de la teoría.

Por esta razón exponemos, al comienzo de esta obra, ciertos principios que a primera vista parecen algo difíciles, pero que son, por otra parte, indispensables para comprender las teorías consignadas en los capítulos posteriores. Estas dificultades provienen de un hecho sobre el cual insistimos, y sobre el que invitamos a reflexionar al lector. Cuando observamos todo aquello que nos rodea, nos damos cuenta de un cierto número de fenómenos: observamos en particular que todos los cuerpos están dotados de un cierto peso, y de aquí deducimos fácilmente que para elevar un cuerpo cualquiera sobre el suelo, debemos efectuar un determinado esfuerzo: de aquí deducimos la noción de fuerza, la cual nos es tan familiar.

Observamos también que algunos cuerpos están calientes y otros fríos, y comprendemos sin estudio previo lo que se entiende por temperatura de un cuerpo y por calor cedido por un cuerpo caliente a otro más frío: gracias a nuestras

sensaciones de calor y de frío, este lenguaje no nos sorprende ni necesita comentario alguno.

Gozamos del sentido de la vista, que nos permite percibir la luz y distinguir el color de los cuerpos, sin que necesitemos poseer, para ello, conocimiento científico alguno.

Lo contrario ocurre cuando nos encontramos en presencia de un fenómeno eléctrico : en este caso son precisas ciertas explicaciones para comprender el fenómeno. No podemos comprobar la existencia de la electricidad, sino de un modo indirecto, esto es, por los efectos que produce : no poseemos un sentido especial que nos revele su existencia, como el de la vista para la luz, y el del tacto para el calor : esto constituye justamente la dificultad del estudio de la electricidad : es preciso, pues, crear un lenguaje convencional, basado sobre conceptos precisos, y cuyo lenguaje es preciso conocer para comprender las explicaciones que se dan de los fenómenos por medio de los cuales se manifiesta la electricidad. Se han introducido teorías nuevas, difíciles de comprender al principio, pero que son indispensables para interpretar los fenómenos eléctricos. Estas son precisamente las teorías y nociones que todo electricista debe conocer y las cuales nos proponemos definir aquí. Hemos de hacer notar que estas nociones guardan una gran analogía con aquellas cuyo conocimiento es indispensable en el estudio de los fenómenos de la gravedad o del calor : pero en el estudio de estos últimos aquellas teorías no tienen necesidad de ser definidas, pues

llegamos a conocerlas gracias a nuestros sentidos, los cuales nos revelan aquellos fenómenos directamente.

Siempre que ello sea posible, estableceremos una analogía entre la noción estudiada y aplicada a la electricidad, y aquella que le corresponde en el estudio de la gravedad o del calor.

Energía. — Esta es una de tales nociones, cuyo conocimiento es muy útil para la interpretación de los fenómenos eléctricos.

Para dar una idea tan exacta como posible de esta noción tan importante, consideraremos dos fenómenos muy sencillos como ejemplos.

Supongamos un cuerpo, elevado a una cierta altura sobre el suelo. Si se le deja caer, este cuerpo puede, según su naturaleza, o romperse, o producir un agujero en el suelo, o bien rebotar y caer por segunda vez, rebotar nuevamente para tornar a caer, y repetir el fenómeno varias veces.

La caída de este cuerpo produce siempre un cierto esfuerzo: a este esfuerzo se le designa siempre con el nombre de *trabajo*. En el primer caso, produce la rotura del cuerpo; en el segundo ha dado lugar a la formación de un agujero, y en el tercero, la caída ha tenido por efecto hacer subir el cuerpo a una cierta altura, como si se le hubiese lanzado desde el suelo. Antes de caer, el cuerpo poseía la propiedad de poder realizar uno u otro de estos efectos: se dice entonces que el cuerpo tenía una cierta *energía*. En el

instante mismo en el que se realiza este efecto, es decir, en el cual el cuerpo llega al suelo, tiene aún energía, pero ésta ha cambiado de forma. En el primer caso, antes de su caída, la energía era la de un cuerpo en reposo o inmóvil y en el segundo es la de un cuerpo en movimiento. La energía es, pues, la propiedad de un cuerpo que se encuentra en una posición determinada, propiedad que acabamos de definir. Pero en este primer ejemplo encontramos ya dos formas de energía.

Esta propiedad utilízase en los saltos de agua que accionan las ruedas de un molino o las turbinas hidráulicas de las estaciones centrales.

Si examinamos lo que ocurre en el caso de la rueda de un molino, notaremos que la rueda pónese en movimiento gracias al agua que cae sobre las paletas, y que este movimiento se transmite al molino mismo, el cual a su vez desarrolla un determinado trabajo. Podemos, pues, decir sencillamente que la energía que poseía el agua situada a una cierta altura se ha transformado en trabajo: la rueda es, pues, un órgano que no tiene otro fin que el de transformar la energía si se conviene en admitir que el trabajo del molino o de cualquier otra máquina no es sino una nueva forma de energía, a la cual llamaremos *energía mecánica*.

Como ejemplo segundo, citaremos el principio de la máquina de vapor. En la máquina de vapor, el vapor de agua expansionándose en el cilindro ejerce sobre el émbolo o pistón una presión, la

cual le obliga a moverse. El émbolo arrastra en su movimiento a una manivela, enlazada al volante de la máquina por una biela, es decir, que el movimiento del émbolo es transmitido al volante, y mediante éste a las demás máquinas útiles. La máquina de vapor desarrolla, pues, un trabajo idéntico al de la rueda del molino; es decir, se aplica al volante energía mecánica, y esta energía está producida por la presión ejercida por el vapor sobre el émbolo. Ahora bien, para producir esta energía es preciso llevar el agua al estado de vapor, a una temperatura elevada, para lo cual es necesario ceder al agua, contenida en una caldera, una cantidad de calor, cedida por el combustible en el hogar. Se puede decir, pues, que el calor cedido al agua es energía, y que en la máquina de vapor esta energía adopta la forma de energía mecánica.

En general puede decirse que si un cuerpo posee una temperatura superior a la de otro cuerpo, como, por ejemplo, el vapor de agua, el cual tiene una temperatura más elevada que la del medio ambiente, posee con relación a este cuerpo cierta energía, la cual es la cantidad de calor que él puede ceder al medio ambiente realizando para ello un trabajo; a esta nueva forma de energía la designaremos con el nombre de *energía calorífica*.

Invitamos igualmente al lector a establecer una nueva comparación entre la energía de los cuerpos que se hallan sobre el suelo, y la del vapor de agua utilizado en la máquina de vapor:

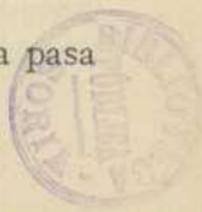
él quedará seguramente sorprendido por la analogía entre ambas energías, pudiendo notar que en el primer caso es preciso que haya una determinada diferencia de niveles entre el cuerpo y el suelo para que se ponga de manifiesto la energía del cuerpo, y que, en el segundo caso, la utilización de la energía del vapor de agua es debida a la diferencia de temperaturas entre el vapor y el medio ambiente. Volveremos más tarde a insistir sobre esta analogía cuando tengamos que definir, al hablar de los fenómenos eléctricos, lo que se entiende por diferencia de potencial.

En resumen, el examen de estas dos categorías de fenómenos, la acción de la gravedad de los cuerpos y el calor de los cuerpos, nos ha permitido deducir la noción de energía y acabamos de ver que si la naturaleza de los fenómenos estudiados se modifica, observaremos igualmente siempre una transformación de la energía.

Para explicar los fenómenos eléctricos, se ha establecido una analogía entre ellos y los de la gravedad y el calor ; esto nos conduce a la conclusión de que aquellos fenómenos no son sino la manifestación de una nueva forma de energía, a la cual se denomina *energía eléctrica*.

Esta forma de la energía se diferencia de la energía calorífica, por ejemplo, por el hecho de que se nos revela de una manera indirecta, mientras que las sensaciones del calor y del frío nos permiten darnos cuenta de la energía calorífica de un cuerpo.

Así, para saber si la corriente eléctrica pasa



por un hilo, es decir, si se dispone de energía eléctrica en este hilo, es preciso intercalar en el mismo una lámpara : si ésta se enciende, deducimos que pasa a través del conductor la *corriente eléctrica*. En substitución de una lámpara, se puede utilizar otro aparato cualquiera, convenientemente elegido, provisto de una aguja que indique por la desviación de la misma la importancia de la corriente.

Cualquiera que sea el sistema empleado para este reconocimiento, se debe transformar la energía eléctrica en calorífica en el caso de emplear la lámpara, o en energía mecánica en el aparato de medida para poder constatar la existencia de la electricidad en el hilo conductor.

El sentido del tacto, por el contrario, nos permite darnos cuenta directamente de la diferencia de temperatura entre dos cuerpos y sacar la conclusión de que el cuerpo más caliente tiene una cierta energía calorífica con relación al otro cuerpo.

La noción de la energía, deducida del estudio de los fenómenos de fácil observación, extendida a todos los fenómenos y en particular a los fenómenos eléctricos, presta grandes servicios en la interpretación de estos fenómenos. Importa sobremanera tener presente qué es la energía de un cuerpo, recordando para ello el origen de esta noción (por ejemplo, los cuerpos pesados colocados a una cierta altura sobre el suelo), y luego es preciso recordar y comprender que la energía puede revestir formas diversas ; en otras pala-

bras, que los fenómenos que parecen pertenecer a órdenes muy distintos no son sino manifestaciones de dos formas diferentes de la energía.

Volviendo de nuevo a la electricidad, diremos que un cuerpo está electrizado cuando posee una cierta energía cuya causa primera se escapa a nuestro conocimiento, pero que se manifiesta por efectos que podemos reconocer.

Cuerpos conductores y aisladores. — Todos los cuerpos pueden ser clasificados, desde el punto de vista eléctrico, en dos categorías: cuerpos conductores y cuerpos aisladores.

Existe un gran número de cuerpos que difícilmente podemos incluir en una u otra categoría: estos son a la vez malos conductores, y por otra parte aislantes o aisladores imperfectos: es decir, la transición de una a otra categoría no está perfectamente definida. Pero desde el punto de vista de sus aplicaciones se entiende generalmente por cuerpos conductores los buenos conductores, y por aisladores aquellos que se distinguen francamente de los primeros.

¿Cuál es la razón de la división de los cuerpos en conductores y aisladores, división y nombres de los cuales hacemos tan frecuente uso? Cuando se electriza un cuerpo, en un punto cualquiera de su superficie, es decir, cuando una parte de este cuerpo, la cual puede ser muy pequeña, posee por una razón cualquiera la propiedad a la cual hemos dado el nombre de energía eléctrica, esta propiedad puede extenderse a

toda la masa del cuerpo del cual aquella forma parte ; en este caso, el cuerpo en cuestión es un buen conductor. En la propagación del calor ocurre un fenómeno semejante : todo el mundo sabe que cuando se calienta una barra metálica por uno de sus extremos, la temperatura del otro extremo se eleva también rápidamente y el cuerpo se dice que es buen conductor del calor. Es curioso lo que se observa y es que los cuerpos buenos conductores de la electricidad lo son igualmente del calor y que los mejores conductores de la electricidad, como del calor, son los metales.

En los aisladores, por el contrario, la electricidad no se transmite, sino que permanece en la región o parte del cuerpo que fué electrizada. Esta misma propiedad se ha comprobado también en los cuerpos malos conductores del calor. Un trozo de madera puede arder por un extremo, y el otro extremo permanecer frío.

Así, pues, para evitar el contacto de dos cuerpos conductores, uno de los cuales esté electrizado, se puede proteger o aislar este último, rodeándolo o recubriéndolo de una materia no conductora o aislante.

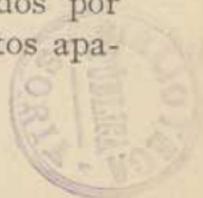
Entre los buenos aislantes mencionaremos la parafina, la resina, el caucho, el vidrio, la porcelana, la mica : de los cuales se derivan la fibra, la ebonita y la micanita y tantos otros productos preparados industrialmente que reúnen determinadas condiciones según el empleo a que se les destina.

En fin, entre estos aislantes que acabamos de

citar, y los cuerpos conductores, principalmente los metales, pueden colocarse todos los demás cuerpos que, según dijimos más arriba, son a la vez malos conductores y aislantes imperfectos. El aire, por ejemplo, es un aislador, pero si contiene humedad, tiende a hacerse conductor, sin llegar jamás a ser un buen conductor : lo mismo ocurre con la madera húmeda. En general, todo cuerpo aislador, impregnado de humedad, pierde parte de su propiedad aislante.

Circuito eléctrico. — El gran desarrollo alcanzado por las aplicaciones eléctricas es debido a la propiedad que tienen los cuerpos conductores de poder transmitir la electricidad que se encuentra en un punto de los mismos.

Para establecer un circuito eléctrico es preciso por una parte una fuente productora de electricidad, a la cual designaremos en general por generador de energía eléctrica (pilas, dínamos, etc.), y por otra parte aparatos que permitan utilizar esta electricidad, tales como lámparas, que la transformen en luz, los motores en trabajo, etc. Ahora bien, el interés que presenta la electricidad es el de poder ser utilizada en puntos muy distantes de aquel en que se produce. Basta para ello que este último punto esté enlazado con aquellos en los cuales se desee utilizar mediante conductores : tanto los aparatos que producen la electricidad como aquellos que la utilizan están igualmente constituídos por cuerpos conductores. El conjunto de estos apa-



ratos y de los conductores que los enlazan constituyen un *circuito eléctrico*.

El circuito eléctrico se llama *cerrado* cuando la corriente eléctrica, partiendo de un punto del

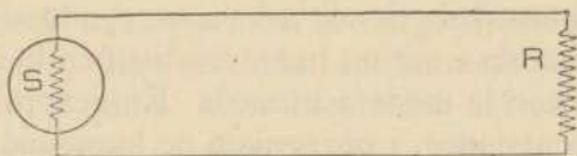


Fig. 1.—Circuito eléctrico cerrado: S, generador de electricidad; R, receptor (lámpara o motor) de la energía eléctrica.

mismo, puede recorrerlo y volver al punto de partida sin encontrar una solución de continuidad (fig. 1).

Si el conductor está cortado en uno o muchos puntos del trayecto, se dice que el circuito es

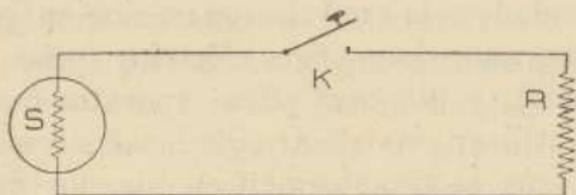


Fig. 2.—Circuito eléctrico abierto: S, generador de electricidad; R, aparato receptor; K, interruptor.

abierto (fig. 2). Para que la energía eléctrica almacenada en el generador pueda ser transmitida y utilizada, es preciso que el circuito esté cerrado. Inversamente, si se quiere hacer cesar la transmisión de la energía, lo cual ocurre prácticamente al apagar una lámpara eléctrica, o al

detener un motor, bastará cortar el circuito en un punto cualquiera del mismo. Con este fin se utilizan interruptores (fig. 3), los cuales son aparatos intercalados en el circuito y de los que hablaremos más adelante.

En realidad, del generador puede suponerse que parten dos conductores, de manera que el sistema así concebido constituye un verdadero circuito, pudiendo considerarse que uno de los conductores sirve para la salida y el otro para el retorno de la corriente eléctrica al generador. Los conductores que constituyen la línea o canalización están unidos al aparato o aparatos de utilización o receptores:

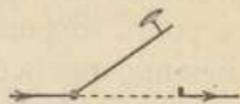


Fig. 3.—Interruptor.

por último, sobre uno de ellos están montados los aparatos, que permiten o interrumpen el paso de la corriente eléctrica, los cuales, aunque de formas distintas, están constituídos siempre por interruptores.

B. — MAGNITUDES ELECTRICAS Y UNIDADES

Diferencia de potencial y fuerza electromotriz. — Todos los cuerpos electrizados se encuentran en un estado particular, el cual es imposible definir sin hacer intervenir la noción de energía, de la que ya hemos hablado más arriba. Únicamente llegamos a conocer si un cuerpo está electrizado

por los efectos que produce, los cuales atribuimos a su electricidad. Estos efectos no son sino una manifestación de la energía de este cuerpo. Comparemos esta energía a la de un cuerpo pesado que se encuentra a una cierta altura sobre el suelo ; la observación nos demuestra que cuanto mayor es la altura a la que se encuentra el cuerpo, tanto más grande será la energía de la cual se podrá disponer, lo cual expresamos nosotros diciendo que la energía es proporcional a la altura a que se halla el cuerpo, o bien aún más exactamente a la diferencia de nivel del cuerpo y del punto en el cual cae el cuerpo, y en el que se utilizará su energía de caída. La altura define, pues, la posición del cuerpo : de la misma manera, en electricidad se ha introducido una noción semejante, la de *potencial*, la cual define el estado eléctrico de un cuerpo. Encuéntrase en el calor una noción idéntica, la de la *temperatura*, que sirve para definir el estado calórico de un cuerpo o de un medio. Mas, para que la cifra que representa la altura a que se halla el cuerpo tenga un sentido, es preciso saber previamente, a partir de qué punto ha sido medida esta altura, siendo mucho más exacto hablar de una diferencia de nivel o, lo que viene a ser lo mismo, de la altura de un cuerpo con respecto a un punto determinado. En electricidad, lo que importa conocer es la *diferencia de potencial* entre dos puntos : el potencial de un cuerpo electrizado no tiene sentido alguno, si no se define el punto con respecto al cual se mide el potencial. Se refiere,

por convención y para simplificar los cálculos, el potencial de un cuerpo electrizado al del suelo, el cual se admite que sea igual a cero, de la misma manera que al hablar de la altura de un cuerpo, sin indicar la misma con relación a un punto determinado, se entiende en general dicha altura con relación al suelo.

La noción del potencial eléctrico, del cual se deriva el de diferencia de potencial, tiene un in-

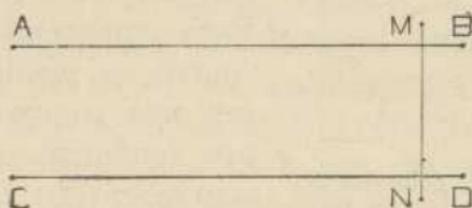


Fig. 4. — AB y CD, conductores recorridos por corrientes de potenciales en un principio distintos, enlazados por el hilo conductor MN: como consecuencia, se produce una corriente en el circuito que tiende a restablecer el equilibrio.

terés especial cuando se consideran cuerpos conductores electrizados. Aquella noción nos permite dar una definición más precisa y científica de los conductores que la que hemos dado más arriba: un cuerpo conductor de la electricidad se comporta de tal forma que cuando un punto o región del mismo se electriza, esto es, se encuentra a un cierto potencial, la electricidad se reparte por todo el cuerpo de tal manera, que el potencial es el mismo en todos sus puntos. Este es el punto de partida de la utilización de la energía eléctrica por medio de la transmisión de la misma a larga distancia. Si se tienen dos

conductores distintos (fig. 4), dos hilos metálicos, por ejemplo, AB y CD, a potenciales distintos y se enlazan ambos por un tercer conductor MN, el potencial del conjunto de los tres conductores llegará a ser el mismo en todos los

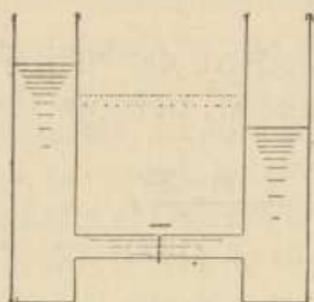


Fig. 5.—Dos columnas de agua unidas por un tubo lateral, en el que hay dispuesta una válvula, al abrirse la cual se establece entre ambos tubos una circulación instantánea de agua. Con líneas de puntos representase otro tubo, por el cual podría establecerse una circulación de agua continua entre las dos columnas.

puntos del sistema : durante un instante la electricidad se ha repartido en el sistema hasta establecerse el equilibrio. Para comprender lo que ocurre, se puede establecer una comparación de este fenómeno con lo que ocurre en dos tubos verticales, colocados el uno al lado del otro, y conteniendo cada uno agua a diferentes niveles (fig. 5) ; las dos columnas de agua representarían los dos conductores a diferente potencial. Supongamos que se unen estos dos tubos,

por su parte inferior, mediante un tercer tubo ; ya se sabe que el agua del tubo en el cual aquella alcanza mayor nivel descenderá y pasará, por el tubo transversal, al que tenía menor nivel, hasta que el nivel del agua en los dos tubos tenga la misma altura : durante breves instantes tiene lugar una circulación o movimiento del agua, a semejanza de lo que ocurre en los dos

conductores eléctricos, en los cuales se manifiesta también una circulación de electricidad.

Podemos admitir la posibilidad de mantener constante la diferencia de nivel entre las dos columnas de agua, en los dos tubos, mediante un procedimiento cualquiera : la circulación del agua en el tubo de enlace no se interrumpirá, puesto que el equilibrio no se establece. Si igualmente se mantuviese la diferencia de potencial entre los dos conductores citados, la electricidad pasaría constantemente de un conductor al otro, a través del conductor que los une, dando así lugar a la producción de la *corriente eléctrica*.

Por consiguiente, para que haya corriente eléctrica, es preciso mantener una diferencia de potencial entre dos transmisores, enlazados entre sí por uno o más conductores. Se da frecuentemente el nombre de *tensión* a la diferencia de potencial que se establece entre dos conductores. Este término recuerda la forma según la cual se manifiesta la electricidad contenida en un conductor, en presencia de otro conductor con el cual no está enlazado o en comunicación, sino separado por un aislante (que puede ser el aire). En este caso, el cuerpo aislante sufre precisamente una tensión, debida a acciones recíprocas de las dos electricidades, que contienen los dos conductores, y la diferencia de potencial entre ellos puede ser bastante elevada para que el aislante ceda en algún punto, fenómeno éste que da lugar a la producción de una chispa eléctrica ; existe, pues, una estrecha relación entre la ten-

sión del aislante, que se manifiesta cuando se produce la chispa, y la diferencia de potencial entre los dos conductores. Por esta razón, se emplean indistintamente los términos tensión y diferencia de potencial para representar la misma magnitud.

¿Cómo se puede mantener la diferencia de potencial entre dos conductores? Éste es el cometido u objeto de lo que hemos llamado la fuente de electricidad o generador, el cual debíamos haber introducido en el circuito. En el generador se dispone de una cierta energía, bajo forma de energía eléctrica, y ésta se define por la diferencia de potencial que existe entre los dos bornes del generador.

Si éste es una pila, la energía eléctrica disponible es debida a reacciones químicas que se producen en la pila ; es decir, la energía de la pila se manifiesta en forma de energía química, la cual se transforma en energía eléctrica. Cuando se utiliza como generador una dínamo o un alternador, es preciso, como veremos más adelante, hacerla girar, es decir, es preciso utilizar energía mecánica para disponer de energía eléctrica en sus bornes. En todos los casos, lo que se trata de obtener es una cierta diferencia de potencial entre los bornes del generador. Pero hemos de hacer aquí una observación sobre esta diferencia de potencial : la experiencia demuestra que ésta no es la misma cuando el circuito en el que está intercalado el generador es abierto que cuando está cerrado : en el segundo caso la

tensión es más débil. Esto se puede explicar de la manera siguiente : cuando el circuito está cerrado, la energía eléctrica es transmitida a la totalidad del mismo, en el cual es utilizada, es decir, el generador está en servicio o trabajo ; pero el generador no puede trabajar sin que sufra una pérdida de energía en el mismo, lo cual es un hecho absolutamente general que tiene lugar en todos los órganos, cualquiera que sea su naturaleza, de la mecánica y de la técnica. Ahora bien, en el caso de la energía eléctrica, esta disminución de la energía utilizable se traduce por una disminución de la diferencia de potencial.

Cuando, por el contrario, el circuito es abierto, el generador no trabaja, y midiendo la diferencia de potencial, se mide una magnitud correspondiente a la energía total disponible en el generador, sin que se haya de tener en cuenta la parte de la energía que se perderá cuando la fuente eléctrica esté en servicio.

Distínguense estas dos magnitudes, denominando la diferencia de potencial que existe entre los bornes del generador, en circuito abierto, su *fuerza electromotriz*. La diferencia de potencial o tensión medida en circuito cerrado conserva el nombre de diferencia de potencial y su valor depende de la energía perdida en el generador, o lo que es lo mismo, de la utilizada en el circuito en el momento en que se lleva a cabo la medida.

Frecuentemente se pueden confundir estas dos magnitudes : se desprecia entonces la pérdida

de energía que tiene lugar en el generador ; pero conviene y es preciso para evitar errores, distinguir las claramente.

Cantidad de electricidad e intensidad de la corriente. — El potencial de un cuerpo electrizado define su estado eléctrico cuando se le compara con otro cuerpo, comparación ésta que se refiere tan sólo a su diferencia de potencial.

Pero el conocimiento de esta magnitud no basta para determinar la energía eléctrica del cuerpo electrizado : esta energía depende, además, de la *cantidad de electricidad que encierra*. La noción de cantidad de electricidad es de comprensión más fácil que la de diferencia de potencial, razón por la cual no está en nuestro ánimo el detenernos en ella. Sin embargo, para fijar bien las ideas, haremos notar que en electricidad, la cantidad de electricidad tiene la misma importancia que la cantidad de materia, es decir, que el peso en los fenómenos de gravedad. Así, pues, si comparamos la energía de un cuerpo que se encuentra a una cierta altura sobre el suelo y que cae bajo la acción de su peso a la de un cuerpo electrizado, podemos deducir que, en el primer caso, la energía es proporcional a la altura del cuerpo sobre el suelo y al peso del mismo ; en el segundo caso, la energía es proporcional a su potencial (con relación al suelo, por ejemplo) y a la cantidad de electricidad que contiene.

Se ve de un modo evidente el paralelismo que

se puede establecer entre los factores de la energía, en los dos casos.

Si el lector está tentado de establecer una comparación del mismo género entre la energía eléctrica y la energía calorífica, partiendo de la energía del potencial y de la temperatura, nosotros creemos deber nuestro advertir que la cantidad de calor no es comparable a la cantidad de electricidad; la cantidad de calor es la energía calorífica misma que depende de la temperatura del cuerpo (siempre referido a la de un medio bien definido) y de una magnitud difícil de concebir, pero que corresponde a la cantidad de electricidad y a la que se ha dado el nombre de entropía.

De la noción de cantidad de electricidad deriva inmediatamente la de *intensidad de corriente*. Ya hemos visto que cuando se mantiene una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor eléctrico pasa de una manera continua del punto que posee potencial más elevado al que lo tiene menor: hay, pues, transporte o circulación de una cierta cantidad de electricidad, lo cual se asemeja a la corriente de agua en una tubería. Esta corriente se define por la cantidad de la misma que pasa durante un segundo o durante un minuto, y de un modo general durante una unidad de tiempo. Por analogía con la corriente de agua se da el nombre de corriente eléctrica a la circulación de electricidad en un conductor, y esta corriente se define por su intensidad. La intensidad de una corriente eléc-

trica es, pues, la cantidad de electricidad que pasa por un conductor durante una unidad de tiempo. Repetiremos una vez más que para que haya corriente eléctrica en un conductor, es pre-

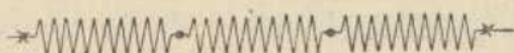


Fig. 6. — Conductores en serie.

ciso que el circuito sea cerrado y contenga un generador que forme parte de dicho circuito.

Si el circuito está constituido por muchos conductores enlazados unos a continuación de los otros, los conductores se dice que están monta-

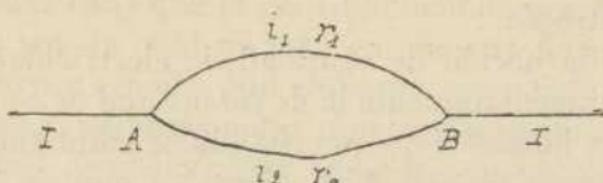


Fig. 7. — Corrientes derivadas.

dos en *serie*, y la intensidad de la corriente es la misma en todos los puntos del circuito (fig. 6).

Si, por el contrario, siguiendo el circuito se encuentra un punto en el cual el conductor se bifurca en varios conductores distintos para volverse a enlazar más lejos, se dice que estos conductores están montados en *derivación* o en *paralelo*, y cada uno de los conductores derivados es recorrido únicamente por una fracción de la corriente que llega al punto de la derivación (fig. 7).

Si se suman las intensidades de las corrientes que pasan por los conductores derivados se obtiene la de la corriente total que llega al punto de derivación.

Esto último tiene una gran importancia desde el punto de vista de las aplicaciones de la electricidad, de las cuales nos ocuparemos más adelante.

Si en efecto se ha de determinar la intensidad de la corriente en un conductor que enlaza el generador o fuente de electricidad a otros muchos conductores en derivación, bastará, según la regla precedente, sumar las intensidades de la corriente en cada conductor para conocer la de la que se busca ; ahora bien, los conductores en derivación pueden ser y son en general los conductores de los aparatos en los que se utiliza la energía eléctrica, mientras que los conductores comprendidos entre el generador y estos aparatos constituyen la línea de alimentación.

Se trata, por ejemplo, de calcular la intensidad de una corriente en una línea que alimenta 10 lámparas de incandescencia, en cada una de las cuales pasa una corriente de una intensidad de 0,2 amperios (ya veremos que la intensidad de la corriente se evalúa en amperios) ; la intensidad de la corriente en la línea es :

$$0,2 \times 10 = 2 \text{ amperios}$$

Resistencia.—Esta noción resulta directamente de las consideraciones que preceden, relati-

vas a la corriente eléctrica. Si se mantiene una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor esta diferencia da lugar a una corriente eléctrica que se caracteriza por su intensidad. Ahora bien, esta intensidad depende, no tan sólo de la diferencia de potencial a la cual es debida la corriente, sino también del conductor mismo ; es decir, de su naturaleza, su longitud y sección.

El conductor opone al paso de la corriente eléctrica una cierta resistencia. Esta resistencia se puede determinar si se conoce la naturaleza, longitud y sección del conductor ; se comprende fácilmente, y así lo demuestra la experiencia, que la resistencia de un conductor es tanto mayor, cuanto mayor es su longitud y menor es su sección.

Esta ley de la variación de la resistencia de un conductor con su longitud y su sección presenta desde luego una gran analogía con la variación de la resistencia que ofrece una tubería a la corriente de agua que por ella circula. Por último, la resistencia depende de la naturaleza del conductor ; es decir, que cada metal, a igualdad de longitud y sección, opone una resistencia diferente de la que oponen los demás.

Así, un conductor de aluminio opone una resistencia 1,8 veces mayor que otro de cobre, de igual longitud y sección que aquél.

Notamos, en fin, que la resistencia de un conductor varía también con la temperatura del conductor, pero entre tan pequeños límites que

esta variación solamente sensible para las importantes elevaciones de temperatura, y cuando se llevan a cabo medidas de mucha precisión.

Definida así la resistencia de un conductor, permite conocer la intensidad de la corriente que atraviesa un conductor entre cuyos extremos se mantiene una diferencia de potencial conocida. La intensidad de la corriente entonces es proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia del conductor. Esta relación, establecida por la experiencia, entre la intensidad de la corriente, la diferencia de potencial y la resistencia, es la *ley de Ohm*. Ella puede inscribirse bajo la forma siguiente :

$$(1) \quad I = \frac{U}{R}$$

en la que I representa la intensidad de la corriente, U la diferencia de potencial y R la resistencia del conductor.

Inversamente, si se considera un circuito cualquiera, cerrado y recorrido por una corriente, entre dos puntos del circuito existe una diferencia de potencial : si en la porción del circuito comprendido entre estos dos puntos tan sólo hay una resistencia conocida y representada por R, pero con exclusión del generador y de aparatos que utilicen la energía eléctrica, la diferencia de potencial entre estos dos puntos es igual al producto de la resistencia y de la intensidad de

la corriente. Sea u esta diferencia de potencial : tendremos, pues,

$$(2) \quad u = RI.$$

Este producto, en el caso aquí considerado, recibe frecuentemente el nombre de *caída de tensión* en la porción de la línea en cuestión.

Si varios conductores están enlazados en serie, la resistencia del circuito así constituido es la suma de las resistencias de los conductores que lo forman.

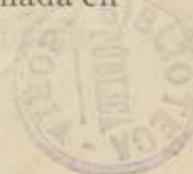
Si, por el contrario, en un circuito existen varios conductores en derivación entre dos puntos, la resistencia del conjunto es menor que si sólo hubiese un conductor entre los dos puntos : la intensidad de la corriente es, en efecto, mayor cuando existen muchos conductores que cuando sólo hay uno, y la resistencia, inversa de la intensidad de la corriente, es más pequeña en el primer caso que en el segundo.

Potencia. — Para que una corriente eléctrica circule por un circuito es preciso que en éste haya un generador de energía eléctrica. Esta energía eléctrica disponible en el generador se transforma en el circuito : desde luego, primeramente en los aparatos en los cuales se utiliza, tales como lámparas, motores, etc., en donde aquélla toma una forma bajo la cual puede ser utilizada, y después en los conductores que constituyen el circuito, los cuales ofrecen todos una

cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica. Ahora bien, esta resistencia da lugar a una pérdida, al menos, de una parte de energía eléctrica; esta energía se transforma en calor, hecho éste notable por la analogía que él presenta con el que se observa en todas las transformaciones o transmisiones de la energía mecánica.

A Joule se debe la evidencia de que todo conductor recorrido por una corriente sufre un calentamiento debido a la transformación térmica de la energía eléctrica. La cantidad de calor así desprendida en un conductor es proporcional a su resistencia; tal es el enunciado de la *ley de Joule*, y esta transformación de la electricidad en calor en un conductor se designa frecuentemente con el nombre de *efecto Joule*.

Esta ley se aplica a todas las porciones del circuito; tanto a los conductores que tan sólo sirven de enlace entre el generador y los aparatos receptores, como al generador y aparatos mismos: estos últimos tienen, en efecto, una resistencia que se opone al paso de la corriente como un conductor ordinario y que da lugar a una transformación de energía eléctrica en calor, lo cual es causa de pérdida de energía. Hay, no obstante, una excepción en el caso de que los aparatos en que se utilice la energía eléctrica estén constituidos por lámparas de incandescencia; en este caso se trata justamente de utilizar el calentamiento del conductor para el alumbrado; aquí, la energía eléctrica es transformada en calor y éste en luz.



Podemos afirmar, de un modo general, que la energía eléctrica disponible del generador se transforma parcialmente en calor en todo el circuito, comprendiendo en éste también el generador, y en energía útil en los aparatos receptores; esta forma de energía tan sólo depende del género del receptor. Pero esta energía será siempre inferior a la del generador, puesto que necesariamente tiene lugar pérdida de energía en los conductores a causa del *efecto Joule*.

Del mismo modo que se considera frecuentemente la cantidad de electricidad que pasa en un circuito durante un segundo, se considera también la energía puesta en juego durante un segundo y se da el nombre de *potencia* a esta energía. De la definición de potencia por una parte, y de la de diferencia de potencial entre los dos extremos de un conductor y de la intensidad de la corriente por otra, se deduce que la potencia P de una corriente eléctrica es igual al producto de la diferencia de potencial U por la intensidad I de la corriente, es decir, que

$$(3) \quad P = UI.$$

Tal es la expresión de la potencia absorbida por el circuito que nosotros acabamos de definir.

Si en lugar de la diferencia de potencial se considera la fuerza electromotriz del generador, que hemos definido más arriba, el producto de la fuerza electromotriz por la intensidad de la corriente es exactamente la potencia producida

conclav

por el generador, comprendida la pérdida de energía por segundo en el generador. Esta potencia será necesariamente superior a la que se obtendría considerando únicamente la diferencia de potencial de las fuerzas, puesto que a esta última potencia se añade la pérdida en el generador, por lo mismo que la fuerza electromotriz es mayor que la diferencia de potencial, siendo la diferencia la caída de tensión en el generador. En otras palabras, a la caída de tensión le corresponde una pérdida de energía.

Unidades. — Todas las magnitudes eléctricas definidas en los párrafos anteriores se pueden medir. Y para mejor comprender lo que se entiende por medir una magnitud, es preciso definir en qué consiste *hacer o tomar una medida*. Todo el mundo sabe que se puede medir una longitud, una superficie, incluso un tiempo: ahora bien, esta operación consiste en comparar la magnitud que se trata de medir con una magnitud conocida, del mismo género, que se toma como unidad. El resultado de la medida se expresa en un número que indica cuántas veces la magnitud conocida está contenida en la magnitud medida. Si, por ejemplo, se mide una longitud, se toma otra conocida a la que se le da el nombre de 1, unidad (1 metro, 1 centímetro, etc.), y el número que resulta de la medida representa el número de metros, centímetros, etc., de la longitud medida. En general, la magnitud conocida tomada como punto de comparación es la

unidad. La elección de la unidad es absolutamente arbitraria, pero para que los resultados de las medidas hechas por operadores distintos puedan ser comparadas, es preciso elegir una unidad perfectamente definida para cada magnitud, unidad con la que se comparan las magnitudes que se han de medir. Así, por ejemplo, la unidad de longitud es el metro o el centímetro; la de peso, el gramo, y la de tiempo, el segundo.

En presencia de fenómenos eléctricos ha sido preciso igualmente elegir unidades apropiadas para las diferentes magnitudes eléctricas, que permiten explicar aquellos fenómenos. Estas unidades se definen por los efectos que produce la corriente eléctrica y son las siguientes:

—la unidad de diferencia de potencial es el *voltio*;

— la unidad de intensidad de corriente es el *amperio*;

—la unidad de resistencia es el *ohmio*;

—la unidad de potencia es el *watio*;

Los nombres escogidos para indicar estas unidades recuerdan a los sabios que han contribuído, por sus descubrimientos, al desarrollo de la electricidad.

El voltio es derivado del nombre de *Volta*, primer físico que dió a conocer y demostró la posibilidad de mantener una diferencia de potencial, yuxtaponiendo sencillamente un disco de cobre a uno de cinc, disposición ésta de la que derivan los generadores eléctricos llamados pilas.

Hemos de hacer constar que la fuerza elec-

tromotriz, magnitud análoga a la diferencia de potencial, se mide igualmente en *voltios*.

Creemos deber nuestro llamar la atención del lector sobre la necesidad de distinguir bien estas unidades, las cuales confunden fácilmente los principiantes, y saber que la intensidad de la corriente eléctrica se evalúa en amperios, una resistencia en ohmios, etc.

En fin, existen relaciones determinadas entre estas unidades y las unidades mecánicas. La unidad de potencia generalmente adoptada es el *caballo de vapor*. El caballo de vapor equivale a 736 watios. Como generalmente en la práctica se consideran potencias de muchos miles de watios, se emplea como unidad el *kilowatio*, que equivale a 1.000 watios (como el kilómetro vale 1.000 metros). Puesto que un caballo de vapor vale 736 watios, valdrá, por consiguiente, 0,736 kilowatio, y un kilowatio equivale a 1,36 caballos de vapor.

El amperio, unidad de intensidad de la corriente, se define por un efecto bien determinado de la corriente, sobre el cual no podemos insistir aquí. Baste saber que una corriente de un amperio de intensidad produce un fenómeno mediante el cual se puede medir la importancia; bien entendido que una corriente de 2, 3, 50 amperios producirá este mismo fenómeno, pero el resultado de la medida será, 2, 3, 50 veces mayor.

De aquí se puede deducir la definición del voltio y del ohmio:

—El voltio es la diferencia de potencial que,

aplicado a los extremos de un circuito recorrido por una corriente de un amperio que atraviese dicho circuito, desarrolla una potencia de un watio ; así, pues,

$$1 \text{ watio} = 1 \text{ voltio} \times 1 \text{ amperio}$$

según la definición de la potencia expuesta más arriba (fórmula 3).

El ohmio es la resistencia de un conductor que deja pasar una corriente de la intensidad de un amperio si la diferencia de potencial en los extremos de este conductor es igual a un voltio ; se tiene, pues (deduciendo de la fórmula 1) :

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

Para comprender bien estas definiciones basta calcular lo que le ocurre a la potencia de un circuito, si la diferencia de potencial es 2, 3... voltios, y cuál será la intensidad de la corriente en un conductor si la resistencia fuese 2, 3... ohmios. Aconsejamos al lector llevar a cabo cálculos elementales para habituarse al empleo de las fórmulas fundamentales dadas más arriba, y de las unidades definidas en este párrafo.

C. — MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

Imanes.—Antes de proseguir este rápido examen de los fenómenos eléctricos propiamente

dichos, nos detendremos a estudiar, de la manera más concisa que sea posible, otro género de fenómenos que, a primera vista, no parece que tengan relación alguna con la electricidad : éstos son los fenómenos *magnéticos*.

Estos fenómenos son debidos a la propiedad que tienen ciertos cuerpos, principalmente los compuestos del hierro, de atraer o rechazar a otros cuerpos de su misma naturaleza, colocados próximos a ellos.

Estos cuerpos constituyen lo que se llaman *imanes*, y se ha dado el nombre de *magnetismo* a esta propiedad.

Es fácil darse cuenta de lo que es un imán aproximando a él un trozo de hierro : se siente en la mano un cierto esfuerzo que resulta precisamente de la atracción que ejerce el imán sobre el trozo de hierro.

Supongamos que el imán tiene la forma de una barra alargada : la experiencia demuestra cómodamente que únicamente los extremos de la barra son activos, mientras que la porción media del imán ejerce un efecto nulo. Se dice también que el magnetismo está concentrado en las extremidades a las que se les da el nombre de *polos*.

Si el imán, que suponemos reducido a la forma de una aguja, es móvil sobre un soporte sobre el cual se apoya por su punto medio, se observa que la aguja imantada tiende a tomar siempre una misma posición, la cual corresponde a la dirección del eje de la tierra ; uno de sus

extremos se dirige siempre hacia el polo norte y el otro hacia el polo sur. Esta propiedad, sobre la que se funda la brújula, sencillamente constituida por una aguja imantada, explica la denominación de *polos* utilizada para designar los extremos de un imán; distinguiéndose entre sí los dos polos llamando polo *norte* a la extremidad del imán que se dirige hacia el polo norte terrestre y polo *sur* a la otra extremidad.

Campo magnético. — Para el estudio y las aplicaciones de estos fenómenos es preciso definir y dar a conocer cierto número de ideas y nociones.

La más importante de ellas es la de *campo magnético*: se llama así al espacio próximo a los polos de un imán y en el cual todo cuerpo susceptible de sentir la acción magnética es atraído o rechazado por el imán. Los polos del imán que crean este campo magnético se consideran como los centros de este espacio. Se puede comprender fácilmente lo que es un campo magnético comparando el polo de un imán a una fuente luminosa, la cual emite y envía rayos luminosos en todas direcciones; todo el espacio iluminado desempeña aquí, respecto a la fuente luminosa, el mismo papel que el campo magnético respecto a los polos del imán. En esta analogía no hay que ver, sin embargo, otra cosa sino una imagen que permite fijar la atención sobre aquello que se entiende por campo magnético. En realidad, en un imán hay siempre dos polos; así, pues, dos centros del campo magnético.

Definiremos, pues, el campo magnético como el medio en el cual el imán que lo engendra es susceptible de producir una acción atractiva o repulsiva. Pero el imán goza aún de otra propiedad ; ésta es la de poder transformar en imanes algunos cuerpos cuando éstos se hallan próximos a él.

Esta propiedad de poder convertirse en un imán, o según la expresión adoptada, de imanarse, tan sólo la poseen una cierta categoría de cuerpos, especialmente los compuestos de hierro, y a los cuales llamaremos cuerpos magnéticos.

Según esto, podremos definir el campo magnético como un espacio o medio en el cual todo cuerpo magnético se imanta. Tan pronto como este nuevo imán sale del campo magnético, deja de sufrir su acción, y pierde toda su propiedad magnética o al menos una gran parte de la misma.

Desde el punto de vista de las aplicaciones esta última propiedad del campo magnético tiene una importancia considerable, según veremos.

Un campo magnético se caracteriza por su *intensidad*: si se consideran dos puntos próximos a un imán, se demuestra que la acción que ejerce el imán sobre el mismo cuerpo colocado sucesivamente en estos dos puntos no es necesariamente la misma.

Se dice entonces que la intensidad del campo magnético es mayor en aquel punto en el cual se deja sentir más intensamente la acción del imán. Se comprueba al mismo tiempo que la

imantación del cuerpo magnético que sirve para esta comparación es más grande en el punto en el que la intensidad del campo magnético es la más elevada. La intensidad del campo magnético puede, pues, medirse ; igualmente la imantación de los cuerpos magnéticos. Se caracteriza también la imantación por su intensidad ; el cuerpo magnético, transformado en imán ejerce una acción magnética, o lo que es lo mismo, crea un nuevo campo alrededor suyo, del cual él es el centro y cuya intensidad se puede medir como el primero. De la medida de esta intensidad se deduce la intensidad de imantación del cuerpo. El campo magnético que da lugar a la imantación de este cuerpo es llamado campo magnético inductor.

Ahora bien, la intensidad del campo magnético engendrado por el cuerpo introducido en el campo inductor, el cual caracteriza la intensidad de imantación de este cuerpo, depende de la intensidad del campo inductor.

Ella aumenta cuando la del campo inductor aumenta : pero este aumento no es ilimitado, principio éste de gran importancia en el campo de las aplicaciones ; llega un momento en el que, aumentando por un procedimiento cualquiera la intensidad del campo magnético inductor, no aumenta la del campo magnético creado por el cuerpo imantado (o lo que es lo mismo, su intensidad de imantación). Se dice entonces que el cuerpo está *saturado* ; se alcanza el *punto de saturación*, cuando todo aumento en la intensi-

dad del campo magnético inductor tan sólo produce un aumento insensible de la intensidad de imantación del cuerpo magnético considerado.

Si después de esta primera imantación del cuerpo magnético se disminuye el campo magnético inductor (lo que se puede realizar, en el caso de un imán, alejando lentamente el imán del cuerpo en cuestión), el cuerpo se desimanta. Se observa que cuando desaparece el campo inductor, la desimantación es completa si el cuerpo es de hierro dulce; él habrá perdido todas las propiedades de imán que había adquirido momentáneamente. Por el contrario, si el cuerpo es de acero, conserva una débil imantación y se dice que ello es debido al *magnetismo remanente*.

Esta diferencia entre el hierro y el acero tiene una gran importancia en las aplicaciones de la electricidad. En ciertos casos se prefiere el empleo del hierro dulce al acero; es decir, siempre que el órgano imantado deba seguir rápidamente las variaciones del campo magnético. Si, por el contrario, conviene que el cuerpo imantado conserve un poco de imantación, aun en ausencia del campo inductor, se empleará con preferencia el acero.

A la noción de campo magnético se enlaza íntimamente la de *flujo de fuerza magnética*; esta noción resulta de la siguiente concepción del campo magnético: se considera el campo magnético recorrido por líneas de fuerza que surcan el espacio próximo al imán que engendra el campo magnético. Las líneas de fuerza van del polo nor-

te al polo sur del imán según líneas curvas perfectamente determinadas (fig. 8), por el exterior del imán; y del polo sur al polo norte por el interior del mismo. Es evidente que al hablar de líneas de fuerzas no se hace sino evocar una imagen que permita representar los fenómenos magnéticos.

El origen de esta concepción es la experien-

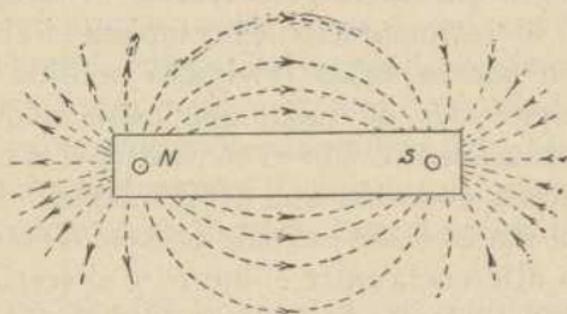


Fig. 8.—Líneas de fuerza de un imán: N, polo norte; S, polo sur.

cia, bien conocida, del imán colocado entre limaduras de hierro (fig. 9); se ve en esta experiencia cómo las limaduras de hierro se amontonan en la proximidad de los polos del imán, y se disponen según curvas bien determinadas que tienden a cerrarse de un polo al otro, exteriormente al imán. De la noción de líneas de fuerza a la de flujo de fuerza, no hay nada más que un paso: el *flujo de fuerza* que emana de un imán, por ejemplo, o que penetra en un cuerpo colocado en un campo magnético, es el número de líneas de fuerza que cortan a la superficie del imán o del cuerpo considerado. Esta definición deja su-

poner que podría contarse el número de líneas de fuerza, lo cual no corresponde a la realidad. Conviene, pues, hacer la siguiente convención: se admite que hay una línea de fuerza en un punto dado, cuando la intensidad del campo magnético tiene por valor la unidad definida una vez para todas, por la acción del imán que crea el campo en el punto considerado. La superficie que

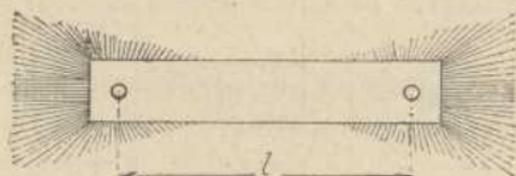


Fig. 9. — Experimento del imán colocado entre limaduras de hierro. Los trazos representan las limaduras de hierro en las proximidades de los polos del imán; l es la distancia entre los polos.

se encuentra en la región en donde la intensidad del campo magnético es 1 está atravesada por un flujo tanto más grande, cuanto más grande es la superficie, y este flujo se expresa por el mismo número que el que representa la superficie considerada (si la superficie es de 3 centímetros cuadrados el flujo será 3 en este caso). Si la acción del campo magnético es 2, 3, 10, etc., veces mayor que la del campo al cual se le atribuye el valor 1, la intensidad del campo magnético será igual a 2, 3..., 10, etc., unidades del campo magnético, y el flujo que atraviesa la misma superficie que la del caso precedente será 2, 3..., 10, etc., veces mayor. En otras palabras, el flujo es, por definición, proporcional a la intensidad

del campo magnético y a la superficie a través de la cual se mide este flujo.

Hemos de hacer notar que el flujo que emana de un cuerpo magnético colocado en un campo magnético inductor es mayor que el que atravesaría la misma superficie de un cuerpo no magnético colocado en este mismo campo ; y esto

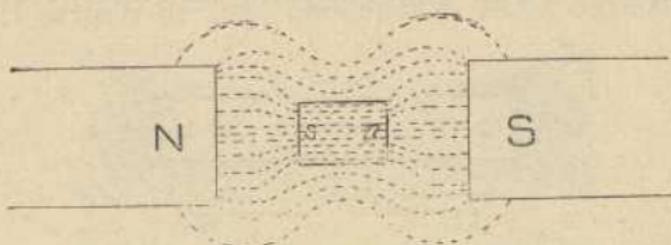


Fig. 10. — *s n* es un cuerpo magnético colocado en el campo magnético engendrado por los polos N y S de un imán de herradura, el cual se cierra fuera de la figura. Las líneas de fuerza están dirigidas hacia el cuerpo magnético.

ocurre así, puesto que, como ya hemos visto, la presencia del cuerpo magnético tiene por efecto aumentar en una proporción importante el valor de la intensidad del campo magnético en el que se halla colocado a causa de su imantación (fig. 10).

Electromagnetismo. — El interés que presenta el magnetismo para el electricista se funda en la estrecha relación que existe entre la electricidad y el magnetismo. Se encuentra en los fenómenos eléctricos el mismo misterio que en los fenómenos magnéticos y sorprende su analogía. Esta semejanza fué la que incitó a los primeros sabios que se dedicaron al estudio de estas cuestiones,

a principios del siglo XIX, a buscar el enlace que podría existir entre estas dos categorías de fenómenos cuya causa primera escapa a nuestro conocimiento. Citemos en primer lugar el nombre de AMPERE, al cual se debe la siguiente conclusión de sus estudios, así como también de los llevados a cabo al mismo tiempo que otros físicos: todo conductor recorrido por una corriente eléctrica engendra en su derredor un campo magnético.

Tal es el resultado de numerosas investigaciones y que ha permitido la aplicación de la electricidad a la industria.

La importancia de esta ley es tan grande, que creemos deber insistir cerca del lector para que la tenga en cuenta y recuerde que existe siempre un campo magnético en el espacio que rodea a un conductor recorrido por una corriente eléctrica.

Gracias a la existencia de este campo magnético el problema del regulamiento a distancia mediante la corriente eléctrica ha sido resuelto, así como el problema de importancia mucho mayor, del transporte de la energía.

Pero no nos anticipemos y veamos primeramente el problema del regulamiento a distancia, de la cual la aplicación más corriente es el timbre eléctrico.

El aparato para ello utilizado y que constituye la aplicación más sencilla de esta nueva propiedad de la corriente eléctrica es el *electroimán*. Como su nombre indica, este aparato se trans-

forma en un imán bajo la acción de la corriente eléctrica ; consiste (fig. 11) en un cuerpo magnético, un núcleo de hierro o acero, alrededor del cual se arrolla un conductor. Vamos a examinar de qué manera este dispositivo es susceptible de

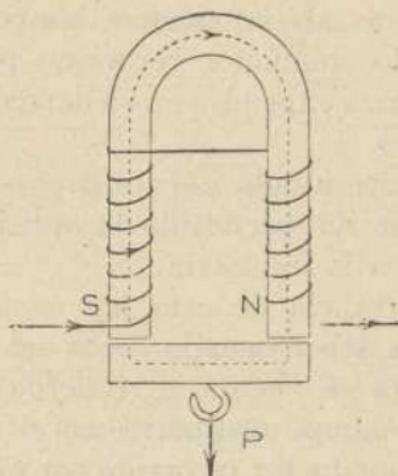


Fig. 11. — Electroimán: en la armadura móvil puede suspenderse un peso P. La línea de puntos representa las líneas de fuerza.

transformarse en un imán, en virtud de las propiedades de la corriente eléctrica, por una parte, y del cuerpo magnético por otra.

Cuando el conductor que rodea el núcleo magnético es recorrido por una corriente eléctrica, fórmase, según la ley de AMPERE, un campo magnético en su proximidad (fig. 12) ; este campo, que posee absolutamente las mismas propiedades que el campo engendrado por un imán, engendra en el cuerpo magnético un campo de intensidad mayor o, más sencillamente, provoca

la imantación del cuerpo magnético : el campo magnético es tanto más intenso, cuanto más elevada es la intensidad de la corriente : lo mismo ocurre con la imantación del cuerpo magnético. Este núcleo adquiere, pues, gracias a la corrien-

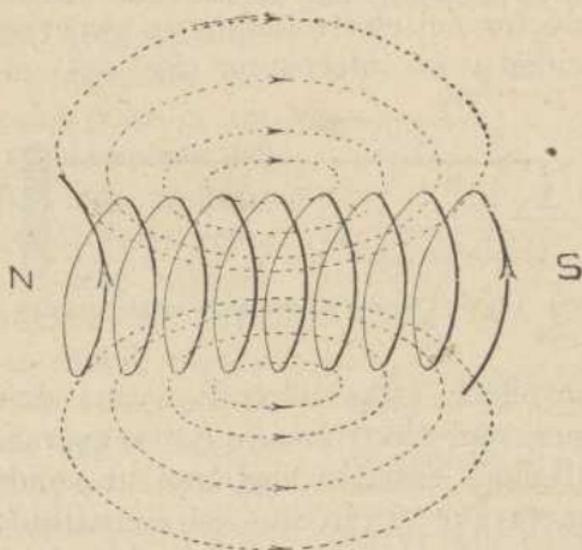


Fig. 12. — Solenoide. Los trazos fuertes representan el conductor recorrido por la corriente en el sentido de la flecha, y las líneas de puntos, las líneas de fuerza.

te eléctrica, las propiedades de un imán y es susceptible de atraer a otro cuerpo magnético, por ejemplo, un trozo de hierro, colocado a distancia conveniente y móvil. Tan pronto como cesa la corriente eléctrica, desaparece el campo magnético y el núcleo magnético pierde total o parcialmente su imantación, según que sea de hierro dulce o acero. En resumen, haciendo pasar una corriente eléctrica por el conductor que rodea al

núcleo de hierro, lo transforma en un imán y si se corta la corriente, se le quitan las propiedades magnéticas que había adquirido momentáneamente.

Ahora, para hacer pasar la corriente, basta cerrar el circuito sobre el cual están montados el conductor del electroimán, un generador de electricidad y un interruptor (fig. 13); el inte-

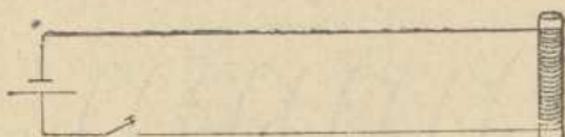


Fig. 13. — Circuito alimentando un electroimán.

rruptor puede estar colocado a una distancia cualquiera del electroimán. Estos aparatos están enlazados entre sí mediante un conductor, de manera que el circuito así constituido esté cerrado cuando el interruptor también lo esté.

Para aumentar el efecto de la corriente, o la intensidad del campo magnético que ella crea, se colocan sobre el núcleo varios conductores colocados en serie y arrollados en espiral, formando cada uno de ellos una espira, y el conjunto de espiras un carrete (fig. 12). El campo así engendrado por la corriente es un campo inductor.

Ya tendremos ocasión de ver, en el transcurso de esta obra, algunas aplicaciones de los electroimanes, de los cuales damos aquí únicamente los principios.

Una segunda consecuencia del electromagnetismo es el motor eléctrico : para comprender su funcionamiento es preciso recordar que un conductor recorrido por una corriente es comparable a un imán, puesto que engendra un campo magnético semejante al que engendra el último.

Consideremos un campo magnético entre los dos polos de un imán, en el exterior del mismo, y supongamos un segundo imán colocado en este campo magnético. Si este imán es móvil, girará para orientarse precisamente según la dirección de las líneas de fuerzas que pasan por el punto en el cual se encuentre dicho imán,

hasta que adquiera su posición de equilibrio. Para la aguja de la brújula, por ejemplo, colocada en el campo magnético terrestre, la posición de equilibrio es la que corresponde a la dirección de los polos terrestres. Si en lugar de un solo imán se suponen muchos, dispuestos como los radios de una rueda (fig. 14), alrededor de un mismo punto que corresponda al centro de la rueda, siendo este punto al mismo tiempo el centro de los imanes así dispuestos, un solo imán podrá estar en un momento dado en la

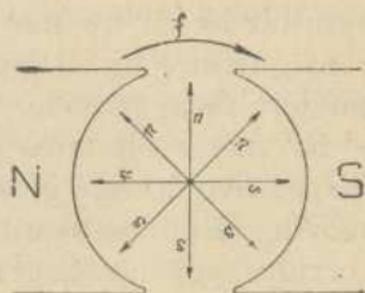


Fig. 14. — Disposición esquemática de un motor constituido por imanes, y que sería realizable si se pudiese invertir la polaridad de los imanes a su paso a la posición de equilibrio (principio del motor eléctrico).

posición de equilibrio, es decir, dirigido según las líneas de fuerza que pasan por este punto, y los otros imanes continuarán haciendo girar el sistema, para adquirir a su vez la posición de equilibrio: esta posición no será alcanzada jamás por el sistema si se cambia en un momento conveniente la polaridad de los mismos imanes, resultando así un movimiento continuo y, por consiguiente, un dispositivo motor del cual se pudiera sacar partido.

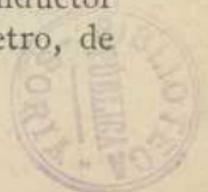
El motor eléctrico no es otra cosa que un dispositivo de este género, en el que los imanes móviles están substituídos por conductores recorridos por una corriente. Estos conductores están colocados en un campo magnético inductor y se ponen en movimiento tan pronto como se hace pasar a través de ellos una corriente: si la corriente cesa, los conductores pierden sus propiedades magnéticas y se paran.

Inducción electromagnética. — En los varios fenómenos electromagnéticos cuyos principios hemos dado, buscando manera de ponerlos en evidencia con sus aplicaciones, hay una transformación de energía. Es necesario una corriente eléctrica, es decir, un generador de energía eléctrica, para producir el movimiento del motor eléctrico, o el desplazamiento de la pieza móvil que atrae el electroimán; tanto el motor como el electroimán, restituyen energía mecánica. El campo magnético creado por la corriente es indispensable en esta transformación de

la energía eléctrica, disponible en el generador, en energía mecánica, es decir, que es el factor esencial de esta transformación.

Ahora bien ; se puede plantear la siguiente cuestión : ¿ no será posible hacer la transformación inversa, es decir, provocar el desplazamiento de un conductor en un campo magnético para que la energía mecánica puesta aquí a contribución se transforme en este conductor en energía eléctrica ? La experiencia responde afirmativamente a esta cuestión y da un medio para engendrar la electricidad haciendo mover un conductor eléctrico en un campo magnético en las condiciones convenientes que vamos a definir.

Supongamos un campo magnético entre los dos polos de un imán, campo representado por líneas de fuerza que surcan el espacio en el cual existe el campo : en este campo se mueve un conductor cerrado sobre un dispositivo que permite poner de manifiesto la existencia de la corriente (figura 15), aparato de medida que se puede llamar amperímetro o galvanómetro. El conductor, que forma con el indicador de corriente un circuito cerrado, envuelve una cierta superficie. Si esta superficie está cortada por líneas de fuerza del campo magnético, lo cual define la posición del conductor, y éste se mueve de manera que en la nueva posición el número de líneas de fuerza cortadas por la superficie abrazada por aquél sea mayor o menor que en la primitiva posición, se observa durante el movimiento del conductor una desviación de la aguja del amperímetro, de



donde se deduce la existencia de una corriente eléctrica. Esta corriente es debida a una fuerza electromotriz que toma su origen durante el movimiento del conductor, y que desaparece tan pronto como aquel movimiento cesa. Estamos en presencia de un fenómeno llamado de *inducción*

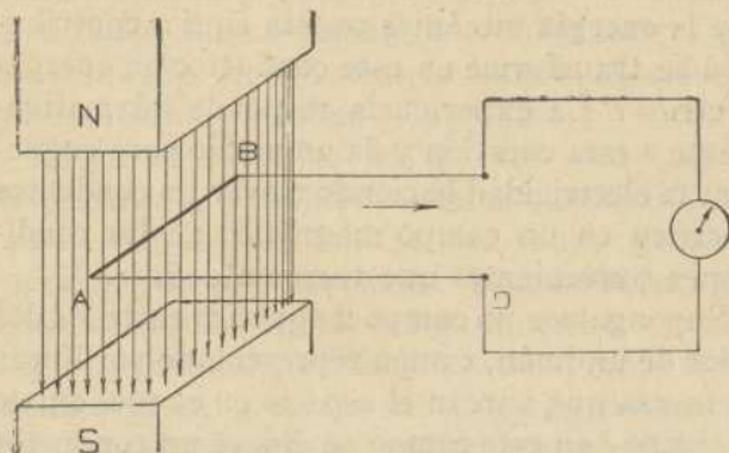


Fig. 15. — A B es un conductor rectilíneo que forma parte de un circuito cerrado y que se mueve en el sentido indicado por la flecha, en un campo magnético. El amperímetro revela la existencia de una corriente inducida en este circuito.

electromagnética. La fuerza electromotriz así creada en el conductor se denomina *fuerza electromotriz inducida*.

Para que una fuerza electromotriz inducida tome nacimiento en un conductor, es preciso que varíe el número de líneas de fuerza cortadas por la superficie limitada por dicho conductor o, más sencillamente, según la definición de flujo de fuerza, que el flujo que atraviesa a esta superficie varíe.

En la experiencia que permite darse cuenta de la existencia de una corriente inducida (que así es como se designa la corriente debida a una fuerza electromotriz inducida), nosotros hemos supuesto que la variación del flujo que atravesaba la superficie limitada por el conductor era debida al movimiento de este último. Como primera consecuencia de la ley que rige los fenómenos de inducción, conviene hacer notar que si se mueve el conductor en el mismo sentido de las líneas de fuerza, no hay variación de flujo y, por consiguiente, no se produce fuerza electromotriz alguna; esto puede enunciarse de la siguiente manera: el conductor debe moverse de manera tal que corte las líneas de fuerza del campo.

La segunda consecuencia, muy importante desde el punto de vista de sus aplicaciones, es la siguiente: no es preciso provocar el movimiento del conductor en un campo magnético para producir una fuerza electromotriz inducida, sino que basta que el flujo de fuerza que atraviesa la superficie por él limitada varíe. Ahora bien; en virtud de las propiedades de la corriente eléctrica, el flujo puede ser debido a una corriente, y si la corriente varía, su campo magnético varía igualmente, y lo mismo le ocurre al flujo que corta la superficie limitada por el conductor, puesto que este flujo es proporcional al campo magnético.

El campo en el cual se encuentra el conductor es el campo *inductor*; el flujo es el flujo inductor,

y se puede enunciar la ley que regula los fenómenos de inducción electromagnética, bajo su forma general, de la manera siguiente :

Toda variación del flujo que atraviesa la superficie limitada por el circuito engendra en éste una fuerza electromotriz inducida ; si el circuito es cerrado, éste es recorrido por una corriente inducida. La variación del flujo puede ser producida ya sea por un movimiento del conductor en el campo magnético inductor, o bien por una variación del campo magnético mismo. El circuito que es sede de la fuerza electromotriz inducida es un circuito inducido.

Aún debemos estudiar un punto interesante de estos fenómenos : ya hemos visto que la corriente eléctrica circula, en el conductor, en un sentido determinado, que es el sentido desde el punto de mayor potencial al que tiene potencial menor ; cuando se trata de los bornes de una pila entre los cuales está intercalado un conductor, la corriente va del borne que se llama polo positivo de la pila (el punto de potencial más elevado) hacia el polo negativo o de potencial más bajo.

La corriente inducida en un conductor tiene igualmente un sentido determinado, sentido que depende de las variaciones del flujo. Si la variación del flujo a la cual es debida la fuerza electromotriz inducida es tal que el flujo que atraviesa la superficie limitada por el conductor aumenta, el sentido de la corriente inducida tiene un sentido contrario al que tomaría si el flujo disminuyese.

Supongamos, para fijar las ideas, un conductor moviéndose en un campo magnético de dirección dada ; tomará nacimiento en este conductor, que por hipótesis suponemos que forma un circuito cerrado, una corriente inducida de sentido determinado. Si se mueve ahora el conductor en sentido contrario al que lo hacía antes, siempre dentro del mismo campo, el sentido de la corriente inducida varía también.

Se invierte igualmente el sentido de la corriente inducida, modificando el sentido del campo magnético, lo que se consigue invirtiendo la posición de los polos del imán o del electroimán que engendra el campo, con la condición de no cambiar en este caso el sentido del movimiento del conductor.

Aparatos de medidas eléctricas. — Para terminar rápidamente el examen de los principales fenómenos eléctricos importa describir los aparatos que permitan darse cuenta exacta de una corriente eléctrica y al mismo tiempo medir su intensidad.

Estos aparatos llámanse *amperímetros* ; indican la intensidad, expresada en amperios, de la corriente que les atraviesa y, por consecuencia, la de la corriente que atraviesa el circuito en el cual dichos aparatos están intercalados en serie. Se sabe en efecto que la intensidad de la corriente que atraviesa varios conductores enlazados en serie es siempre la misma.

Un amperímetro está formado por un conduc-

tor convenientemente dispuesto para poner en evidencia un efecto de la corriente. Se utiliza ya sea el efecto calorífico o bien el efecto electromagnético. En el primer caso el instrumento es un aparato térmico; en el segundo, un aparato electromagnético, al cual se le da frecuentemente el nombre de *galvanómetro*.

En un amperímetro térmico, el hilo conductor atravesado por una corriente eléctrica se calienta y se dilata, es decir, se alarga, a causa de la elevación de su temperatura. Tanto mayor será su alargamiento, cuanto más se caliente y, por consiguiente, cuanto mayor es la intensidad de la corriente que a través de él circula. Al alargarse, el hilo, mediante un mecanismo que varía de un aparato a otro (fig. 16), da lugar a la desviación de una aguja, la cual se mueve sobre una escala graduada en amperios. El principio del aparato es, pues, muy sencillo, pero su construcción es muy delicada, pues es preciso que el hilo sea muy fino para que su alargamiento sea sensible aun para las más pequeñas elevaciones de temperatura y, por consiguiente, para las menores intensidades de corriente. Es preciso, pues, evitar en la manipulación de estos aparatos térmicos, choques susceptibles de causar la rotura del conductor, así como el empleo de los mismos para corrientes de intensidad superior a aquellas para las cuales han sido construídos.

Los aparatos electromagnéticos están constituídos por un carrete fijo o móvil, colocado cerca de un imán. Cuando el carrete es fijo, el imán

está constituido por una pequeña aguja móvil alrededor de su centro; en el caso contrario, el imán es fijo y el carrito está colocado entre los polos del imán. Se utiliza aquí la acción recíproca que ejercen el campo engendrado, sea por

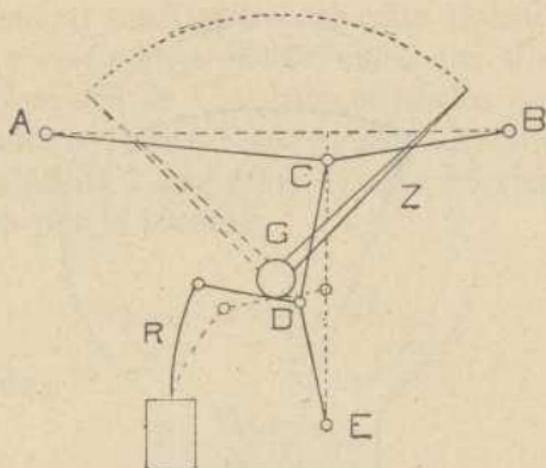


Fig. 16. — Amperímetro térmico: A B, conductor al que se fija en C otro hilo, que, a su vez, está enlazado al resorte R. Las líneas de puntos representan la posición del sistema, cuando no pasa corriente por el conductor A B; y los trazos continuos, la posición que toma el sistema a consecuencia de la dilatación del conductor bajo la acción de la corriente. La aguja del amperímetro está fijada a una pequeña polea G, que el hilo colocado entre D y el resorte R hace girar.

la aguja imantada, sea por el imán, y el engendrado por la corriente que atraviesa el carrito.

Supongamos el carrito fijo y el órgano móvil, o sea la aguja imantada: esta aguja tiene una posición de equilibrio determinada, cuando no circula la corriente por el carrito. Si se cierra el circuito en el que está intercalado este último, la corriente eléctrica que lo atraviesa engendra

un campo magnético que obliga a desviarse a la aguja de su posición de equilibrio y esta desviación será tanto más grande, cuanto mayor sea la intensidad de la corriente que atraviesa el carrete. La aguja imantada arrastra en su mo-

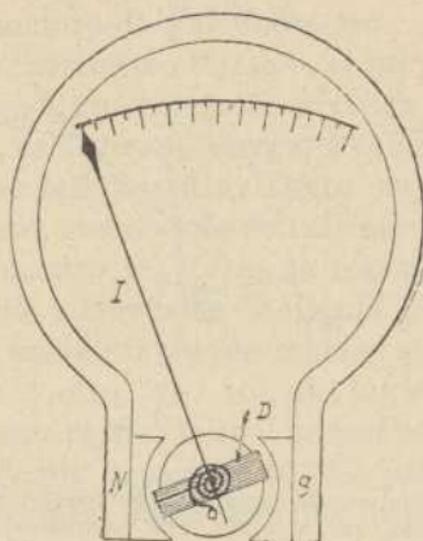


Fig. 17. — Amperímetro de eje móvil.

vimiento a otra aguja indicadora que recorre una escala graduada en amperios.

El principio es absolutamente el mismo cuando el órgano móvil es el carrete (fig. 17).

Ya veremos al estudiar las placas de distribución las disposiciones especiales que se toman para montar estos aparatos. Lo que no conviene olvidar es lo que hemos dicho anteriormente, esto es, el principio fundamental del amperímetro, que se puede resumir así : la medida de la

intensidad de una corriente eléctrica se reduce a medir los efectos térmicos o mecánicos que produce.

Conociendo el principio de la medida de la intensidad de la corriente, es fácil deducir aquel en el cual se funda la medida de su diferencia de potencial mediante el aparato llamado *vóltmetro* o *voltímetro*. Recordemos que si se tiene una diferencia de U voltios entre los bornes de un conductor cuya resistencia es R ohmios, la intensidad de I amperios de esta corriente viene dada por la fórmula

$$I = \frac{U}{R},$$

de donde

$$RI = U.$$

Si suponemos que uno de los amperímetros que hemos descrito anteriormente está constituido por un conductor cuya resistencia sea R ohmios y que indique I amperios, la diferencia de potencial entre los bornes del aparato es fácil de determinarla, bastando para ello multiplicar R ohmios por I amperios para conocer el número de voltios que representa la diferencia de potencial que buscamos.

El amperímetro se transforma así en un *voltímetro*.

En realidad, el problema se plantea del siguiente modo : se tiene una diferencia de potencial entre dos puntos la cual se quiere medir.

Bastará unir estos dos puntos mediante un voltímetro, cuyo principio fundamental es el mismo que el de un amperímetro: difiere de este, sin embargo, por la resistencia del conductor que lo constituye, siendo mucho más grande que la del que entra en la construcción del amperímetro.



Fig. 18. — Graduación de un voltímetro (la escala inferior indica las intensidades de las corrientes correspondientes; la resistencia del voltímetro se supone, por ejemplo, que sea igual a 10:000 ohmios).

tro: se diferencia además en que la escala está graduada en voltios (fig. 18).

Frecuentemente la resistencia del conductor que constituye el voltímetro es demasiado débil y se monta en serie con el voltímetro una resistencia llamada adicional, la cual se suma a la del voltímetro y tiene por objeto aumentar la resistencia del circuito del voltímetro.

Al amperímetro y al voltímetro se añaden otros aparatos tales como el *watímetro*, que permite medir las potencias; el *ohmetro*, que sirve para medir las resistencias, etc. Los principios de estos aparatos presentan una gran analogía con los de los aparatos que acabamos de describir y no es, pues, preciso estudiarlos aquí.

Frecuentemente se utilizan combinados un voltímetro y un amperímetro para medir las potencias y resistencias. Basta recordar que la potencia P viene dada por la fórmula

$$P = UI ;$$

en donde U representa la diferencia de potencial en voltios e I la intensidad de la corriente en

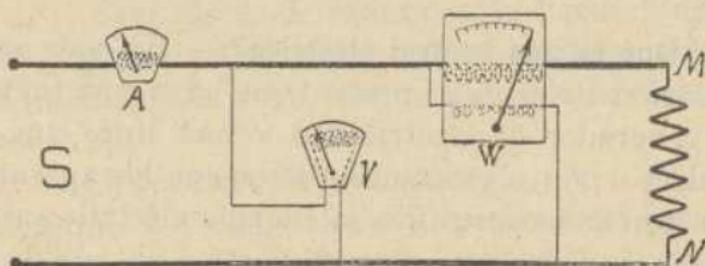


Fig. 19. — Esquema de la instalación de un amperímetro A , de un voltímetro V y de un wattímetro W , en la que se distingue el carrete de hilo grueso y el de hilo delgado; S , generador eléctrico que alimenta el circuito $M N$.

amperios. P será la potencia en vatios absorbida por el circuito que recorre la corriente de intensidad I (fig. 19).

La resistencia R viene dada en ohmios por la expresión

$$R = \frac{U}{I} ;$$

en la que U e I tienen la misma significación que en la fórmula anterior.



CAPÍTULO II

DESCRIPCION DE UNA CENTRAL ELECTRICA

¿Qué es una central eléctrica? — En toda instalación eléctrica es preciso que haya una fuente o generador de electricidad y una línea que la enlace o ponga en comunicación con los aparatos en los cuales se utiliza la energía eléctrica, aparatos aquellos que forman parte a su vez de la instalación. Ocurre, pues, lo mismo, en una central eléctrica, que en una instalación de un timbre eléctrico, que en las instalaciones de alumbrado, y que en las instalaciones de fuerza motriz. En el primer caso, el aparato que utiliza la energía eléctrica es el timbre y el generador de electricidad está constituido por una pila o bien un conjunto de pilas, al cual se da el nombre de *batería*. En el segundo caso, los aparatos en que se utiliza la corriente son las lámparas o los motores eléctricos, y el generador de corriente es entonces más potente que una batería de pilas, es decir, es una máquina a la cual se le da el nombre de *generatriz*. Tanto si la instalación es importante como no, ya se trate de un timbre o ya de miles de lámparas, de un pe-

queño motor o bien de un centenar de grandes motores, el principio es siempre el mismo : un generador y una línea entre éste y los aparatos en los cuales se ha de utilizar la corriente. Si se examina lo que ocurre en una instalación eléctrica, se puede comprobar que tienen lugar tres fases :

1.^a *Producción* de energía eléctrica (en el generador) ;

2.^a *Transporte* de esta energía hacia el aparato o aparatos en los que se ha de utilizar aquélla (mediante la línea, constituida por hilos conductores) ;

3.^a *Utilización* de esta energía.

Lo que nos ocupará en el presente volumen es, como su nombre indica, la producción de energía eléctrica y su transporte. En lo que concierne a la producción de la corriente, no estudiaremos el caso en que el generador esté constituido por una pila ; puesto que la energía desarrollada por una pila es tan pequeña que no puede sacarse partido de la misma sino tan sólo para instalaciones muy poco importantes ; y si la pila fuese la única fuente de energía conocida, la electricidad no hubiera alcanzado seguramente el desarrollo que manifiesta hoy y que está llamado a ser cada día mayor. El modo de producir la energía eléctrica verdaderamente interesante para nosotros es mediante las máquinas generatrices : la energía que puede ser puesta en juego por este medio es incomparablemente superior a la de una pila y aun a la de una batería

de pilas, por importante que ésta sea, con la condición, bien entendida, de que ella no alcance dimensiones excesivas.

Haremos notar, de paso, que la expresión que acabamos de emplear hablando de la producción de energía eléctrica es impropia: se trata en efecto, no de producir la energía eléctrica, sino de transformar la energía disponible en una forma cualquiera en energía eléctrica. En las pilas, la energía disponible es la energía química, la cual se manifiesta por las acciones químicas de los cuerpos que entran en la constitución de la pila. En las máquinas generatrices se dispone de la energía mecánica, debida ella misma a otra forma de energía, según veremos más adelante, y la máquina generatriz transforma esta energía mecánica en eléctrica.

Continuaremos, no obstante, empleando el término «producción de energía eléctrica», reservando la expresión «transformación de la energía eléctrica» al caso particular en el que la energía eléctrica es transformada en ésta, en las condiciones que más adelante estudiaremos también.

Estas observaciones permiten responder a la pregunta que encabeza el capítulo: ¿Qué es una central eléctrica? La central eléctrica es el local en el que están instaladas las máquinas que producen la corriente eléctrica partiendo de ella las líneas destinadas a transportar esta energía. Se da frecuentemente el nombre de estación generadora a la central eléctrica, con lo que se define

más exactamente la finalidad de la central eléctrica. Pero esta última expresión se aplica por la razón siguiente : en general, la electricidad producida en la estación generadora es transportada, no sólo a uno, sino a muchos puntos ; así, pues, ella es *distribuída*, según la expresión técnica, a una o varias regiones más o menos próximas a la central generadora. Los hilos conductores destinados a transportar esta energía eléctrica se reparten en todas direcciones y cubren a la región o regiones como las mallas de una red ; de aquí el nombre de *red eléctrica*, que se da al conjunto de instalaciones que dependen de una estación generadora (fig. 20). La central generadora es así, pues, el centro adonde concurren todas las líneas de instalación : ella no siempre es el centro geométrico de la red, pero es necesariamente el punto en el que se encuentran todas las líneas principales.

Para que circule la corriente eléctrica por los conductores eléctricos que enlazan la máquina generatriz de corriente con los aparatos de utilización es preciso que los conductores, generatriz y aparatos, formen un circuito cerrado. Si se sigue, pues, el conductor destinado a la alimentación de un aparato de utilización, se ha de partir siempre del generador para volver de nuevo por aquél a este último ; y esto ha de cumplirse para todos los aparatos de utilización repartidos sobre la red que se considera. Ahora bien, el generador está en la central eléctrica y esto nos hace comprender el por qué la central

eléctrica es el centro de la red, pudiéndose muy bien comparar al tronco de un árbol del cual parten las ramas.

La energía de la central eléctrica es, pues, la suma de las energías utilizadas por los distintos aparatos enlazados a la red. Si se considera esta energía en un momento dado, ésta será exactamente la potencia de la central eléctrica, es decir, de la energía por ella producida o que puede producir por segundo; esta potencia es igual a la suma de las potencias que se necesitan en los aparatos de utilización. La importancia de la central eléctrica está, pues, íntimamente ligada a la de los aparatos de utilización por una parte y a su número por otra. Si la instalación contiene únicamente lámparas de incandescencia, por ejemplo, y cada una de ellas consume una energía igual a veinticinco watios, consumo éste que depende de la intensidad de la iluminación que pueden dar, la central eléctrica debe producir una energía tantas veces mayor que veinticinco watios, cuanto es el número de lámparas. Así, pues, si hay cien lámparas, la potencia de la central eléctrica será de 2.500 watios; y si hay mil lámparas, aquélla ha de ser de 25.000 watios. Y si a estas lámparas se añaden motores eléctricos, la potencia de la central se ha de aumentar en la potencia absorbida por los motores.

Pero cualquiera que sea el valor de la potencia de la central eléctrica, el principio de la misma es siempre igual: únicamente las dimensio-

nes y números de las máquinas varían con la potencia, así como las dimensiones del local en el que han de funcionar dichas máquinas.

Toda central eléctrica se divide en dos partes. —

El órgano esencial de una central eléctrica es la máquina generadora que constituye la fuente de electricidad. Pero para que ésta produzca electricidad, o más exactamente, para que pueda transformar en energía eléctrica la energía de la cual se dispone, y que es la energía mecánica, es preciso que el órgano móvil de la misma sea puesto en movimiento, es decir, que hace falta proveerla de una máquina motriz que obligue a funcionar a la máquina generatriz de electricidad. Esta máquina motriz puede ser un motor de gas, una máquina o turbina de vapor y también una rueda o turbina hidráulica. La instalación de una máquina motriz comprende todos los órganos necesarios para la marcha de esta máquina, instalación frecuentemente más importante que la de la máquina generatriz de electricidad y la de los aparatos que la acompañan, principalmente en el caso de que la máquina motriz sea una máquina o turbina de vapor: en la instalación entran por una parte las calderas, y por otra parte los condensadores, órganos éstos de tal volumen, que la parte ocupada por las máquinas y aparatos eléctricos parece casi insignificante, aunque se trate de una estación o central generadora.

En resumen, toda central generadora, por

poca que sea su importancia, comprende dos partes bien distintas : una parte que llamaremos *mecánica* y que comprende la máquina o máquinas motrices y todos los órganos necesarios para

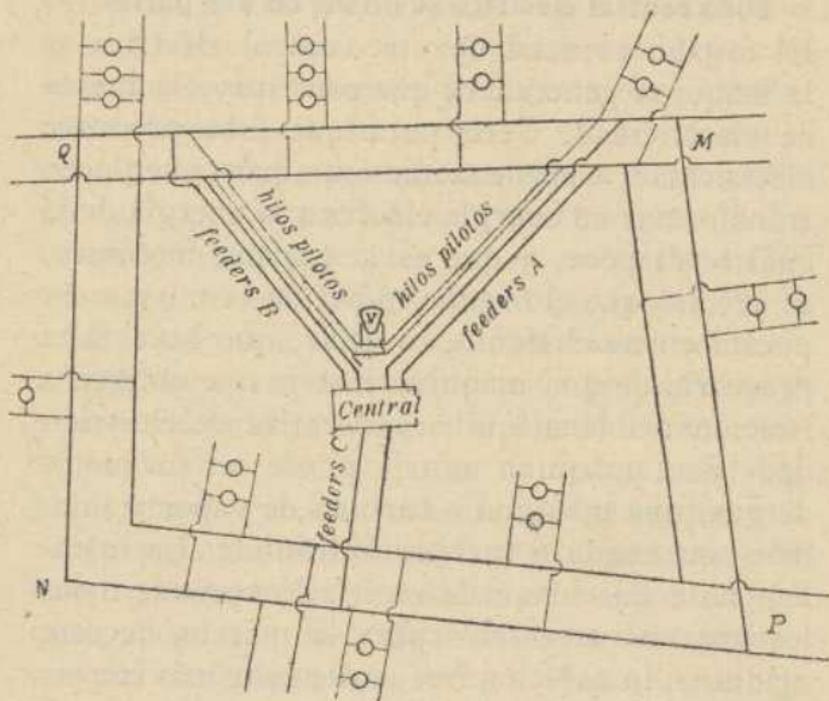


Fig. 20. — Esquema de una distribución bifilar.

su funcionamiento, y la segunda parte es la parte *eléctrica*.

Dejaremos aquí de ocuparnos de la parte mecánica de una central generadora : su estudio nos llevaría a ocuparnos de los diversos tipos de motores de gas, de vapor, hidráulicos, cuestión ésta muy importante, pero completamente independiente de toda consideración relativa a la electricidad.

Basta saber que se dispone de un motor de gas, de vapor o hidráulico, sobre el eje o árbol del cual se puede montar una máquina generatriz, es decir, una dínamo o un alternador. La

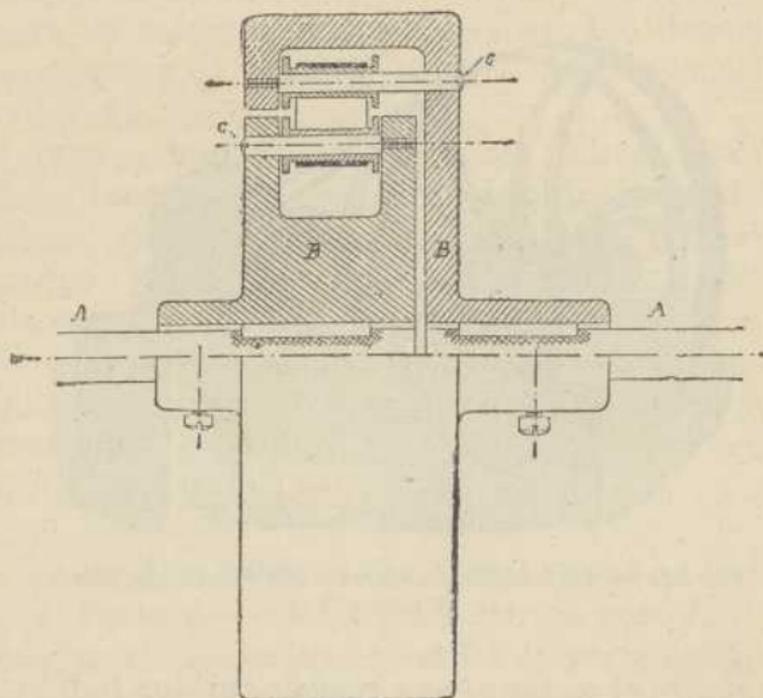


Fig. 21. — Acoplamiento elástico.

velocidad de rotación del alternador dependerá de la de la máquina motriz, velocidad que puede ser regulada mediante un medio apropiado al género de motor adoptado. En fin, la potencia eléctrica producida por la dínamo o alternador es tomada del motor. Así, pues, se dispone en el árbol o eje del motor de energía mecánica, la cual es transformada en energía eléc-

trica por la dínamo. Hagamos notar de paso que la energía mecánica del motor es a su vez debida a la energía calorífica transformada en aquél, si es que se trata de un motor de gas o de vapor, o a la energía cedida por un salto de

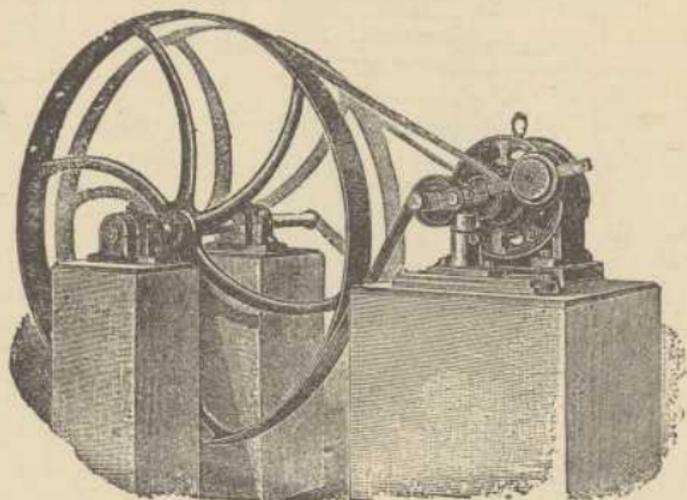


Fig. 22. — Transmisión de fuerza a una dínamo por correa, con un tensor Wyss.

agua, si el motor es una rueda o turbina hidráulicas. En este último caso la central eléctrica denominase central hidroeléctrica.

Lo más frecuente es que haya tantas máquinas motrices como generatrices : a cada máquina motriz corresponde una generatriz, y el conjunto de dos máquinas constituye un *grupo electrógeno*. La transmisión del movimiento se hace generalmente por acoplamiento directo (fig. 21) de la máquina motriz y de la dínamo o alternador.

En ciertos casos, la dínamo es puesta en fun-

cionamiento mediante una correa : el motor es entonces un motor de gas o bien de vapor, y frecuentemente no tan sólo está destinado a mover la dínamo, sino también un árbol de transmisión sobre el que están montadas las poleas para las máquinas-útiles del taller. La dínamo sirve entonces tan sólo para el alumbrado del taller (fig. 22).

Pero cualquiera que sea el modo utilizado para hacer funcionar la dínamo o alternador, el problema, desde el punto de vista eléctrico, es el mismo : lo que le interesa al electricista es saber disponer de energía mecánica sobre el árbol o eje de la máquina motriz y sacar partido para transformar esta energía en energía eléctrica y distribuirla a aquellos puntos en que podrá ser utilizada.

Lo que debe haber en una central eléctrica (desde el punto de vista eléctrico). — Es muy fácil separar en una central eléctrica la parte mecánica de la parte eléctrica, estando representada la unión entre una y otra por el órgano que transmite la energía mecánica a la máquina generadora de electricidad. Los órganos esenciales desde el punto de vista eléctrico son :

- 1.º, la generatriz o generatrices (dínamos o alternadores) ;
- 2.º, el cuadro de distribución.

El papel de las generatrices está definido por el nombre mismo de la máquina : es la fuente productora de energía eléctrica. El objeto de la

placa o cuadro de distribución es fácil también descubrirlo.

La electricidad producida por las generatrices debe distribuirse por la red, mediante hilos o alambres conductores que constituyen las líneas de la red. Pero es preciso que esta distribución se haga con método y orden: y conviene darse perfecta cuenta de cuanto ocurre en las generatrices y en los diversos puntos de la red. Dispónese con este fin de aparatos de medida, principalmente amperímetros y voltímetros, todos agrupados en un punto de la central eléctrica, sobre una placa de mármol, por ejemplo, que constituye el cuadro de distribución. Sobre la misma placa se montan aparatos reguladores, de distribución y protección, los cuales describiremos más adelante cuando establezcamos el principio de la distribución de la energía eléctrica. Lo que conviene recordar por un instante es que todos los aparatos están agrupados en un mismo punto de la central eléctrica, lo que permite al electricista encargado de la vigilancia de la instalación tener bajo su mirada todos los aparatos de medida y al alcance de su mano los aparatos reguladores y puesta en marcha.

La electricidad producida por la generatriz o generatrices es conducida, pues, al cuadro de distribución: esto obliga a enlazar las generatrices con dicho cuadro, mediante conductores que constituyen las *conexiones*.

Se disponen detrás del cuadro todas las conexiones necesarias entre los diversos aparatos de

modo que se obtengan los circuitos eléctricos según las reglas. Estos circuitos son a veces muy complicados para seguirlos y comprenderlos: así, pues, es preciso disponer previamente de un esquema, es decir, de un croquis o dibujo sobre el cual estén figuradas las conexiones entre las máquinas generatrices, el cuadro de distribución y los aparatos de utilización repartidos en la red. Como veremos más adelante al examinar la cuestión de los cuadros de distribución, se enlazan las conexiones procedentes de las generatrices a un juego de conductores dispuestos detrás del cuadro y que lleva el nombre de *barras colectoras*, de las cuales parten los hilos de las líneas.

De un modo general, se puede dividir el cuadro de distribución en dos partes: el lado de llegada y el lado de partida. El lado de llegada corresponde a los aparatos destinados a las generatrices, y el lado de partida es aquel que interesa a las líneas que constituyen la red.

A estos órganos indispensables, generatrices y cuadro de distribución, se añaden frecuentemente órganos que son útiles y que en determinados casos pueden llegar a ser necesarios. Estos son, por una parte, los acumuladores y, por otra parte, los transformadores.

Los primeros están destinados a acumular la energía eléctrica producida por las máquinas generatrices para restituirla según las necesidades de la red, ya sea cuando la energía que se necesita es superior a la que pueden desarrollar y producir las máquinas eléctricas, o bien cuando



do éstas están paradas. Los acumuladores no desempeñan, pues, un papel esencial en las centrales eléctricas : constituyen tan sólo un órgano útil que interesa tener a disposición, pero no indispensable.

En lo que a los transformadores se refiere, ya veremos que frecuentemente no tienen ninguna razón de ser, y en otros casos son necesarios y forman parte de la instalación. He aquí la razón por la cual no siempre hay transformadores en todas las centrales eléctricas, y caso de existir, es que su presencia se impone como consecuencia de las condiciones a las cuales deben responder la generatriz o generatrices por una parte, y las líneas de distribución por otra.

Resumiendo ; toda central eléctrica debe constar, desde el punto de vista eléctrico :

1.º, de una o más máquinas generatrices, formando, por lo general con la máquina o máquinas motrices que las hacen funcionar, grupos electrógenos ;

2.º, un cuadro de distribución, con todos los aparatos de regulación, de medida, de distribución y de protección ;

3.º, conexiones entre la generatriz o generatrices y el cuadro de distribución ;

4.º, líneas de partida ;

5.º, al lado de estos órganos esenciales se encuentra frecuentemente una batería de acumuladores ;

6.º, transformadores.

Por último, en las estaciones centrales de im-

portancia se dispone una pequeña instalación acoplada a la instalación principal para la alimentación de los servicios de la central misma, tales como los motores de las bombas de los condensadores ; los motores para la puesta en marcha de los dispositivos para el transporte de carbón, etc., son motores eléctricos que funcionan alimentados por una generatriz especial. Este conjunto forma lo que se llama servicios auxiliares de la fábrica, y que comprende también el alumbrado de la misma, y cuya alimentación es también independiente en cuanto sea posible de la instalación principal. Esto tiene lugar, en realidad, tan sólo en las centrales de importancia, especialmente en aquellas que utilizan como máquinas motrices máquinas o turbinas de vapor.

CAPÍTULO III

DINAMOS Y ALTERNADORES

Principio de las máquinas y de los alternadores.

— Tal es el nombre dado a las máquinas generadoras de electricidad, las cuales se designan frecuentemente generatrices, y en las que se efectúa la transformación (señalada en el capítulo II) de la energía mecánica en energía eléctrica.

Nos proponemos estudiar aquí el principio de esta transformación y admitimos, por tanto, la existencia de un órgano móvil, susceptible de ser puesto en movimiento por el motor que hace funcionar a la generatriz.

Señalando más arriba los fenómenos de inducción, hemos dejado entender que es posible sacar partido de estos fenómenos para crear la electricidad, y esto es precisamente lo que se realiza en las generatrices.

Recordemos que cuando se mueve un conductor formando un circuito cerrado en un campo magnético, de manera que el flujo que atraviesa la superficie limitada por el conductor varíe, el circuito es recorrido por una corriente llamada inducida.

Consideremos el campo magnético en el espa-

cio libre entre los dos polos N y S de un imán o de un electroimán (fig. 23). Supongamos que en este espacio se coloca un anillo de hierro que se hace girar alrededor de su centro: el anillo constituye lo que llegará a ser el órgano móvil de la máquina generatriz. Imaginemos ahora un conductor, arrollado en espiral sobre este anillo y que participe del movimiento del anillo. La espira es perpendicular al anillo.

Si se examina lo que ocurre desde el punto de vista del flujo de fuerza que atraviesa la espira, cuando el anillo gira en el sentido indicado por la flecha (fig. 23), se observa que este flujo es nulo cuando el plano de la espira es paralelo a la dirección del campo magnético (en 1 y en 3), y alcanza por el contrario su máximo valor cuando la espira es perpendicular a esta dirección (en 2 y 4). El flujo varía, pues, durante el movimiento de rotación del anillo, lo cual responde perfectamente a la condición necesaria para que tome nacimiento una corriente inducida en la espira.

Ya hemos visto que la fuerza electromotriz inducida por el movimiento de un conductor en un campo es proporcional a la variación del flujo. Como el flujo varía desde cero hasta el máximo valor que puede tener, interesa, pues, aumentar este último valor cuanto sea posible. Con este fin será preciso proveerse de un anillo de hierro dulce o de acero: sobre un anillo de esta naturaleza arrollaremos el conductor. Se sabe ya que todo cuerpo magnético colocado en un campo magnético aumenta la intensidad de éste, a causa de

la imantación que experimenta bajo la acción del mismo. Aquí, pues, en lugar de disponer del campo relativamente débil que existiría en ausencia de todo cuerpo magnético, se tiene un campo cuya intensidad es notablemente aumentada gracias al cuerpo magnético, lo que conduce a un

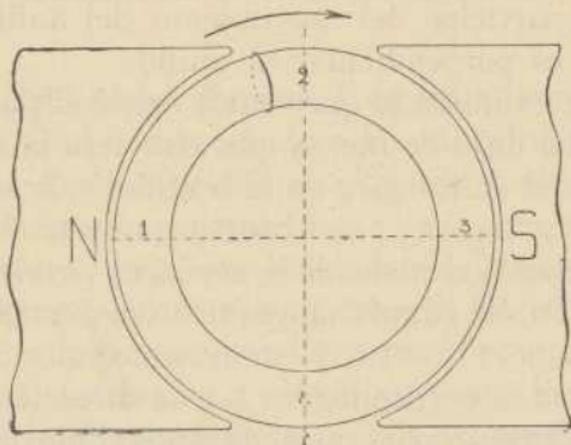


Fig. 23. — N y S son los polos de un imán o electroimán entre los cuales se hace girar un anillo de hierro dulce, sobre el que está arrollado un conductor en forma de espiral.

valor interesante del flujo de fuerza que pasa a través de la espira, puesto que este flujo mismo es proporcional a la intensidad del campo.

La fuerza electromotriz inducida depende también de la velocidad con la cual varía el flujo; ahora bien, esta variación es tanto más rápida, cuanto mayor es la velocidad de rotación de la espira. Interesa, pues, para obtener una fuerza electromotriz elevada, hacer girar el anillo a una velocidad tan grande como sea posible.

En lo que concierne al sentido de la corriente

inducida en la espira, haremos notar que el sentido cambia cuando el flujo que atraviesa la espira ha alcanzado su máximo valor. Para comprender esto es preciso recordar que la corriente inducida tiene un sentido tal que se opone a la variación del flujo que la origina.

Al pasar la espira de 1 a 2 (fig. 23), ésta es atravesada por un flujo que aumenta, y al pasar de 2 a 3, este flujo disminuye. El sentido de la corriente en la espira entre 1 y 2 es inverso del que tiene entre 2 y 3. Entre 3 y 4, el flujo aumenta de nuevo, pero el sentido en que es atravesada la espira es contrario al que tenía entre 1 y 2; el sentido de la corriente será, pues, también contrario y, por consiguiente, del mismo sentido que entre 2 y 3. Cambia nuevamente en 4 y vuelve a ser el mismo que entre 1 y 2.

La línea recta que pasa por las posiciones 2 y 4 divide el anillo en dos partes; el sentido de la corriente inducida en la espira es igual para todas las posiciones de ésta situadas a la derecha de aquella línea; igualmente es la misma, aunque de sentido inverso al anterior, para todas las posiciones de la espira situadas a la izquierda de la línea citada. A esta línea se la llama *línea neutra*; por consiguiente, cuando la espira pasa por esta línea, la corriente inducida cambia de sentido tomando el valor cero, es decir, que su intensidad es nula en estos puntos; después aumenta su intensidad en uno u otro sentido, decrece en seguida para llegar de nuevo a anularse y cambiar de sentido, y así sucesivamente.



te. Estas variaciones de la intensidad de la corriente inducida son también las de la fuerza electromotriz a la cual es debida aquella corriente.

Volvamos, pues, al principio de las máquinas y alternadores, basado en lo que pasa en una espira girando en un campo magnético en el que la fuerza electromotriz inducida es esencialmente variable: en un giro o vuelta completa de la espira, la fuerza electromotriz inducida que era nula, al principio aumenta, luego disminuye, cambia de sentido, aumenta de nuevo en este sentido y disminuye en seguida para volver a pasar por el valor cero que tenía al comenzar el giro; en la segunda vuelta, vuelve a tomar los mismos valores que en la primera y en el mismo orden, a medida que la espira pasa por las mismas posiciones que la primera vez. La variación de la fuerza electromotriz en la espira presenta la propiedad de ser *periódica*, es decir, que la fuerza electromotriz vuelve a alcanzar el mismo valor después de un cierto tiempo correspondiente a la duración de un giro de la espira. El tiempo que transcurre entre dos pasajes consecutivos de la espira por una misma posición, o entre dos puntos donde la fuerza electromotriz adquiere el mismo valor, se denomina duración de un *período*.

Debemos hacer notar aquí que si en nuestro ejemplo la duración del período es el de un giro de la espira, ello no es siempre así. La definición general de la duración de un período es la

segunda que acabamos de dar, a saber, el intermedio de tiempo que transcurre entre los dos instantes en los cuales la fuerza electromotriz alcanza el mismo valor. En el caso particular de que halle una sola espira arrollada, y un solo campo magnético, este intervalo de tiempo es justamente igual al que dura un giro. Más tarde tendremos ocasión de volver a tratar sobre este mismo punto: lo que interesa tener presente sobre el principio de las máquinas y alternadores, es que la fuerza electromotriz inducida por el movimiento de una espiral en un campo magnético sufre variaciones periódicas.

Campo magnético inductor. — Antes de examinar el partido que se puede sacar de las consideraciones precedentes, nos proponemos estudiar cómo se puede obtener el campo magnético en el que se mueve la espira. El anillo sobre el cual está arrollada la espira se mueve, según hemos visto, en el espacio libre entre los dos polos de nombre contrario y cuyos ejes están sobre la misma recta. Se sabe que todo imán o electroimán tiene dos polos: si una de sus extremidades libres es el polo norte, la otra extremidad es el polo sur. Es preciso, pues, que los dos polos del sistema pertenezcan al mismo imán o al mismo electroimán: esto conduce a emplear imanes en forma de U cuyas extremidades se aproximan un poco para que el flujo que emana de los polos sea concentrado en el espacio libre que los separa. En el caso de que se utilice un elec-

troimán es suficiente enlazar los dos polos mediante un cuerpo magnético que constituye lo

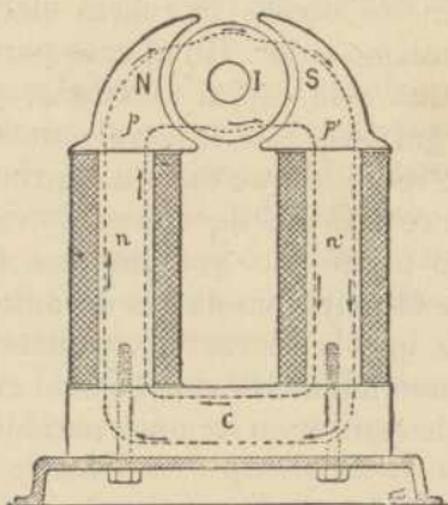


Fig. 24.—Inductor de herradura de dos núcleos, de tipo superior.

que se llama la armazón de la máquina (figuras 24 y 25).

Para asegurar una repartición de flujo simé-

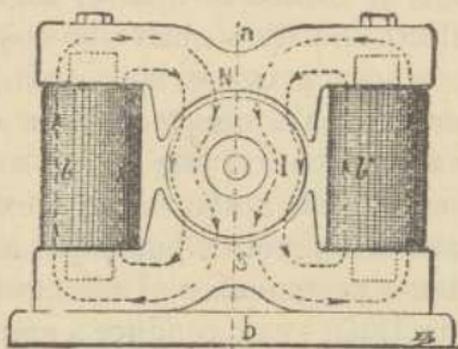


Fig. 25. — Inductor tipo Manchester.

trica con la línea de los polos en el espacio dejado libre para la rotación de los conductores, se

enlazan los polos de los electroimanes por uno y otro extremo ; forma ésta de las modernas máquinas eléctricas (fig. 26).

Las máquinas generatrices empleadas en la industria están provistas todas de electroimanes ; se da el nombre de *magnetos* o *máquinas magnetoeléctricas* a aquellas cuyo campo inductor está engendrado por un imán. La potencia que ellas pueden desarrollar no es comparable a la desarrollada por las *dínamos*, razón por la cual nos ocuparemos sólo de estas últimas.

Otra ventaja que presentan los electroimanes sobre los imanes es que permiten regular fácilmente el campo magnético inductor del cual depende el funcionamiento general de la máquina : este regulamiento consiste en hacer variar la intensidad de la corriente que atraviesa los carretes del electroimán.

Los electroimanes que crean el campo inductor tienen, en virtud de esta función, el nombre de *inductores*. Por extensión, el circuito eléctrico que comprende los carretes de los inductores o simplemente los carretes inductrices, es el cir

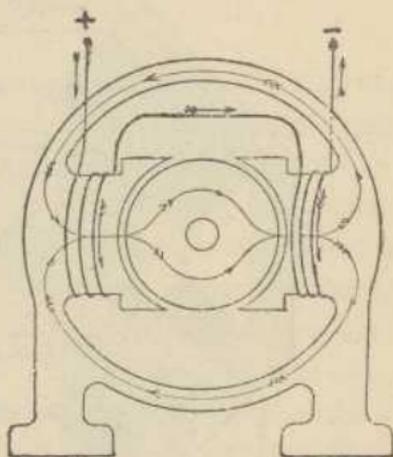


Fig. 26.—Circuito magnético de una dinamo bipolar moderna.



cuito *inductor* o también *circuito de excitación*, y se dice que la máquina está *excitada* cuando se ha establecido el campo magnético inductor.

Siempre hay al menos dos polos inductores, un polo norte y un polo sur. Frecuentemente se

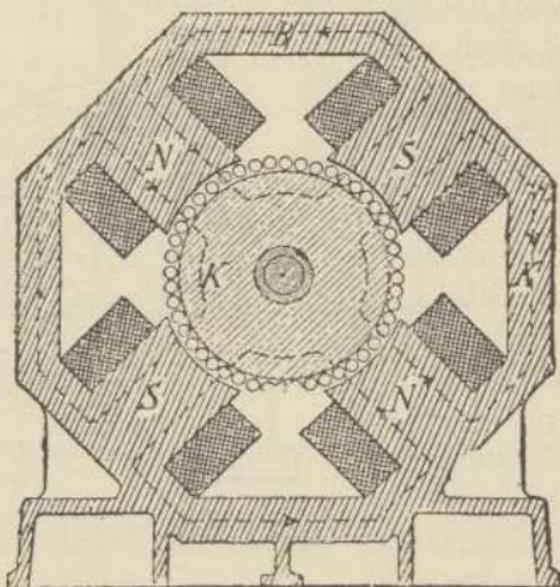


Fig. 27. — Inductor multipolar ordinario.

tiene interés en aumentar el número de polos inductores hasta el número de 4, 6, 8, y aún más, en las máquinas de potencia elevada. En el primer caso, la máquina se llama *bipolar*, y en el segundo caso, *multipolar*: si tiene cuatro polos se llama *tetrapolar* (fig. 27); si tiene seis, *hexapolar*, *octopolar*, si posee ocho polos, etc.

El principio del funcionamiento de las máquinas multipolares es el mismo que el de las

bipolares, pero en un giro completo del anillo, la fuerza electromotriz inducida en el conductor que se arrolla en el anillo y gira, sufre un número mayor de variaciones que el que experimenta en las bipolares : esto permite sacar mejor partido de la materia que entra en la constitución de la máquina.

Inducido. — Tal es el nombre que se da al órgano de la máquina en el cual toma nacimiento la fuerza electromotriz inducida, como consecuencia del movimiento del conductor en el campo magnético inductor. El inducido comprende en principio el anillo móvil, que gira alrededor de su centro, y el conductor arrollado sobre este anillo. Ya hemos visto lo que ocurre en este conductor arrollado en espiral sobre este anillo, cuando esta espiral se mueve en el campo magnético inductor. Si se supone una serie de espirales arrolladas sobre este mismo anillo (fig. 28) y repartidas sobre la periferia según indica la figura, se podrá aplicar a cada una de estas espiras el mismo razonamiento que hicimos cuando estudiábamos una sola espiral : es decir, la existencia de otras espirales sobre el anillo no modifica en nada las conclusiones deducidas en el caso de una sola espiral.

Así, pues, durante la rotación del anillo, en cada espiral es inducida una fuerza electromotriz, la cual varía con la posición de la espiral que se considere en el campo magnético inductor. Se concibe, pues, la ventaja que se puede

sacar empleando un número grande de espiras : la fuerza electromotriz de la cual se podrá disponer será más grande que si se utilizase una sola espiral. Pero no conviene anticiparse, pues aquí se presenta una dificultad sobre la que importa insistir a fin de comprender bien lo que

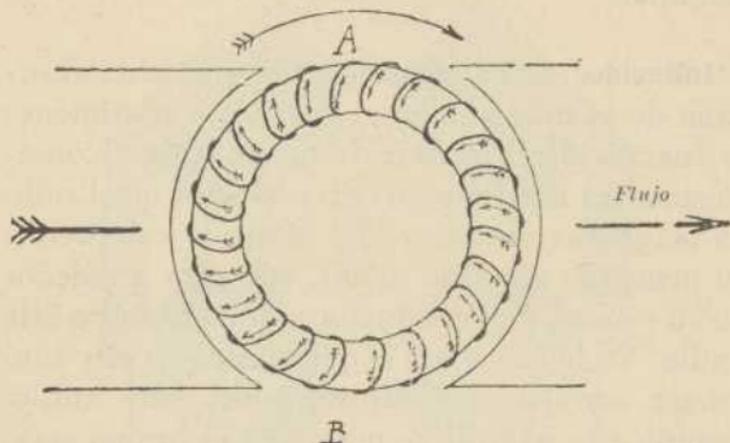


Fig. 28. — Devanado en anillo.

distingue las soluciones propuestas para vencer esta dificultad.

Siendo esencial este punto en el funcionamiento de las máquinas generadoras de electricidad, nos creemos en el deber de detenernos, rogando al lector que ponga aquí toda su atención.

El principio de la existencia de muchas espirales sobre el anillo es, pues, admisible : estas espiras están repartidas de una manera regular y uniforme sobre la periferia del anillo y su conjunto constituye lo que se llama el *devanado inducido*.

Si aplicamos a cada espiral del devanado el mismo raciocinio que hicimos sobre una sola, deduciremos que la fuerza electromotriz inducida en cada una de ellas es nula cuando la espiral pasa por uno de los puntos de la línea neutra ;

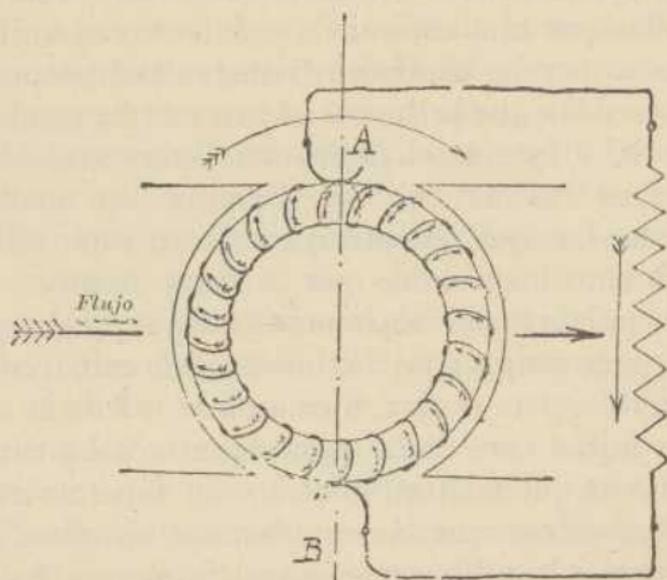
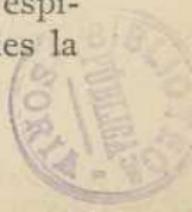


Fig. 29. — Toma de corriente sobre el anillo.

además, ella tiene un sentido distinto, según que la espira considerada esté a un lado u otro de la línea neutra. Ahora bien, esto es cierto para cada una de las espirales del devanado, y volveremos, pues, al primer punto, a saber, que la fuerza electromotriz inducida en cada una de las espiras cambia de sentido en la espiral que pasa por la línea neutra. Así, pues, la línea neutra divide el devanado en dos mitades. En todas las espirales comprendidas en una de estas mitades la



fuerza electromotriz inducida tiene el mismo sentido : lo mismo ocurre con las fuerzas electromotrices inducidas en la otra mitad de las espirales, pero el sentido de estas fuerzas electromotrices es inverso del que tiene la de las espiras de la primera mitad. Las dos mitades están separadas por una espiral de cada lado del anillo, es decir, por dos espirales diametralmente opuestas, y en las que la fuerza electromotriz es nula.

Pero, y éste es el punto más importante que conviene retener, no son siempre las mismas espiras las que constituyen la misma mitad del devanado dividido por la línea neutra : en otras palabras, si suponemos una espiral, a la que, para mejor fijar las ideas, denominaremos número 1, esta espiral forma parte ora de la primera mitad, ora de la segunda mitad. La causa de ello es que la línea neutra o de separación es fija, mientras que las espiras son móviles. En un giro del anillo, esta espiral número 1 habrá pasado de la primera mitad (o primera región) a la segunda para volver luego a la primera, es decir, para volver a tomar la posición que ella ocupaba cuando comenzó el giro. Si su movimiento continúa, ella pasa por estas mismas posiciones formando parte periódica o alternativamente de la primera y de la segunda mitad. Lo mismo ocurre con todas las espirales del devanado.

Ahora bien, interesa recoger la corriente así inducida en el conjunto de estos conductores, y para esto basta enlazar en serie las espiras en

las que es inducida en el mismo instante una fuerza electromotriz del mismo sentido, de modo que se sumen todas las fuerzas electromotrices iguales.

Evidentemente, la corriente se ha de recoger de los dos puntos diametralmente opuestos : pues así, cada mitad del devanado da la suma de las fuerzas electromotrices inducidas en cada una de las espirales que la constituyen, y las dos mitades son semejantes a pilas montadas en serie.

Pero los puntos de la línea neutra son fijos : será, pues, preciso, para tomar la corriente, colocar un dispositivo fijo de toma de corriente (fig. 29), mientras que el devanado inducido es móvil. Las dos espirales diametralmente opuestas entre las cuales se recoge la corriente cambian, pues, a cada instante ; éstas son las dos espirales que pasan sobre la línea neutra, en el instante considerado, es decir, aquellas en las que la fuerza electromotriz inducida es momentáneamente nula. La corriente así obtenida tiene todas las propiedades de la corriente producida por una pila : la máquina generatriz tiene una fuerza electromotriz determinada, que es siempre igual a la suma de las fuerzas electromotrices inducidas en cada espiral de las dos mitades del devanado. La corriente lleva el nombre de *corriente continua* por oposición a la *corriente alterna*, cuyo origen estudiaremos más adelante.

Corriente continua. — Las máquinas generatrices, de las cuales acabamos de examinar el

principio en que se fundan, dan, pues, una corriente que, según hemos dicho, tiene todas las propiedades de la corriente engendrada por las pilas. A estas máquinas se las llama *dinamo-eléctricas* o, más sencillamente, *dínamos*. Sus órganos esenciales son, pues, el inductor y el inducido, que acabamos de definir, y que se encuentran en todas las máquinas generatrices, y el *colector*, destinado a recoger la corriente inducida, y que las distingue de las máquinas generadoras de corriente alterna o alternadores. Para comprender el papel exacto que desempeña el colector, recordemos que la corriente, para que sea continua, es preciso que sea recogida en dos puntos diametralmente opuestos, fijos, de la línea neutra : esto exige que en cada instante las dos espiras del inducido que pasan sobre la línea neutra estén cada una en contacto con un conductor, los cuales constituyen los dos *bornes* de la máquina : pero el contacto de las dos espiras ha de ser muy breve ; tan pronto como estas dos espirales han traspasado la línea neutra, las dos siguientes espiras, igualmente opuestas, son las que las reemplazan sobre la línea neutra, y por consiguiente la corriente inducida se debe recoger de estas dos espirales, y así sucesivamente.

Por otra parte, los conductores que constituyen las espirales están aislados entre sí, así como del anillo sobre el cual están arrolladas : este aislamiento es indispensable para que el conjunto de conductores no quede reducido a un solo con-

ductor : es preciso, pues, que cada espira constituya un circuito en el que únicamente sus dos extremos estén enlazados con las espirales adyacentes.

El dispositivo del inducido será tal como representa la figura 30 : los extremos de dos espirales consecutivas están unidos o enlazados al mismo tiempo a una lámina de cobre, habiendo un número de láminas igual al de espirales en el devanado. Estas láminas, alargadas, están montadas sobre un manguito, el cual les sirve de apoyo y a su vez está fijado sobre el eje o árbol de la máquina, es decir, sobre el eje del inducido.

Estas láminas están igualmente aisladas cuidadosamente las unas de las otras, desde el punto de vista eléctrico, y su conjunto, que forma un cilindro, constituye el colector. Este participa del movimiento del inducido por intermedio de un manguito que le sirve de apoyo. Dispónese así de una superficie lisa, cilíndrica, la cual gira con el devanado del inducido, sobre el que tan sólo bastará fijar dos conductores en dos puntos convenientemente escogidos para recoger en ambos la fuerza electromotriz inducida en las espirales del inducido. Estos son los dos puntos de la línea neutra, y así se da el nombre de *escobillas* a los conductores fijos que reposan sobre el colector y que recogen la corriente inducida.

La fuerza electromotriz de la máquina es igual a la suma de las fuerzas electromotrices inducidas en todas las espirales de cada una de las mitades del devanado, separadas por la línea neu-

tra, que como ya hemos visto anteriormente están enlazadas en oposición.

Raciocinemos ahora lógicamente para darnos cuenta exacta del valor de esta fuerza electromotriz. Ya hemos visto que la fuerza electromotriz inducida en un conductor que se mueve en

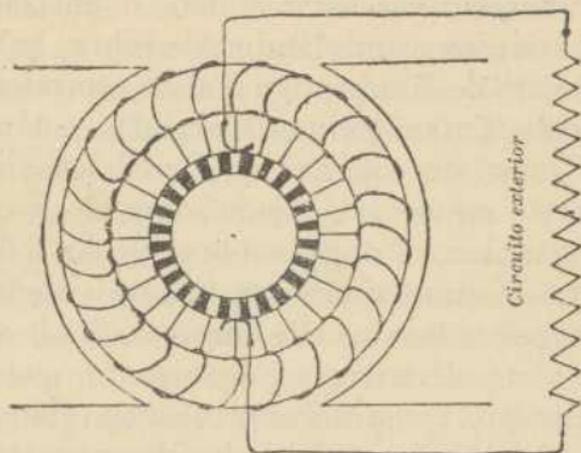


Fig. 30. — Inducido anular y su colector.

un campo magnético es proporcional a la intensidad del campo y a la variación de la superficie que determina el conductor, y que está cortada por las líneas de fuerza del campo magnético; cuanto más rápida es esta variación, tanto mayor es la fuerza electromotriz inducida. La variación de la superficie presentada por una espiral al paso de las líneas de fuerza es la siguiente: cuando el plano de la espiral coincide con la línea neutra, la superficie que aquella presenta a las líneas de fuerza del campo es la superficie total abrazada por el conductor que

constituye la espiral ; cuando la espiral está bajo un polo, la superficie de la misma cortada por las líneas de fuerza es mínima ; en un cuarto de giro, la variación de la superficie alcanza su máximo valor. Desde este punto de vista, la dínamo presenta y reúne las mejores condiciones para obtener una fuerza electromotriz elevada.

Ya dijimos que esta variación de la superficie cortada por las líneas de fuerza debía ser rápida : esta condición es de una grandísima importancia, pues ella interesa directamente la velocidad de rotación de la dínamo. Cuanto mayor es la velocidad de rotación, tanto mayor es la fuerza electromotriz. Esta es la razón por la cual las dínamos están dispuestas para girar a grandes velocidades, y esto explica el resultado que se obtiene aumentando la velocidad de las dínamos : es decir, se aumenta en la misma proporción su fuerza electromotriz. Principio es éste que ningún electricista encargado del entretenimiento de una dínamo debe ignorar.

Lo que acabamos de decir concierne igualmente a la fuerza electromotriz de la corriente inducida en cada una de las espiras. Ahora bien, la recogida en los bornes de la máquina es la suma de las fuerzas electromotrices inducidas en las espiras de las dos mitades del devanado inducido que se encuentran a una y otra parte de la línea neutra. También es proporcional al número de espiras o de conductores del devanado inducido.

En resumen, la fuerza electromotriz inducida es proporcional :

- 1.º A la intensidad del campo magnético inductor ;
- 2.º A la superficie limitada o determinada por el conductor que constituye una espiral ;
- 3.º A la velocidad de rotación de la dínamo ;
- 4.º Al número de espiras del devanado inducido.

Ya veremos más adelante, al hablar de las condiciones que se han de tener en cuenta para el funcionamiento de una dínamo, la importancia que tienen estas proporciones. Hagamos notar de momento que el número de espirales y la superficie limitada por cada una de ellas, en una dínamo construída y lista ya para el funcionamiento, son fijas y no pueden ser modificadas, mientras que se puede, por el contrario, modificar el campo magnético inductor (o la corriente de excitación), e igualmente la velocidad de la máquina para regular la fuerza electromotriz de la misma dentro de ciertos límites.

Todo lo dicho puede aplicarse tanto a las máquinas multipolares como a las bipolares, pues el principio del funcionamiento de las primeras, según dijimos, no difiere del de las segundas. Sólo el número de las variaciones sucesivas y periódicas de la fuerza electromotriz es mayor, en una vuelta completa, en una máquina multipolar que en una bipolar.

Corriente alterna. — Hemos visto que para recoger en los bornes de una máquina generatriz una corriente que posea las propiedades de la

corriente de la pila, es decir, para que la fuerza electromotriz conserve una intensidad constante mientras dura una rotación completa del inducido, es preciso un dispositivo especial, el colector, que permite recoger la fuerza electromotriz inducida entre dos puntos fijos, sobre los que se apoyan las escobillas.

Nos proponemos ahora examinar aquí lo que ocurre si, suprimiendo el colector, se recoge la fuerza electromotriz entre dos puntos del devanado inducido, diametralmente opuestos, siendo siempre los mismos puntos, es decir, moviéndose con el inducido en su movimiento de rotación. Esto equivale a tomar dos espiras diametralmente opuestas y enlazarlas con dos conductores aislados entre sí, en los cuales se recoge la fuerza electromotriz. Todas las demás espiras comprendidas entre estas dos están montadas en serie, las unas a continuación de las otras, y el diámetro que pasa por las dos espiras extremas escogidas arbitrariamente separa o divide el devanado en dos mitades, enlazadas en derivación entre sí (fig. 31). La fuerza electromotriz recogida entre las dos espiras así escogidas es la suma de las fuerzas electromotrices inducidas en las espirales de cada una de las dos mitades, cuando las dos espirales están en la dirección de la línea neutra; pero tan pronto como ellas sobrepasan dicha línea, el sentido de la fuerza electromotriz inducida en cada una de las espirales de ambas mitades no es la misma en todas las espirales y la fuerza electromotriz



inducida resultante es igual a la diferencia de las fuerzas electromotrices que son de sentido inverso. Esta diferencia conduce a una fuerza electromotriz momentáneamente nula, cuando las espirales entre las que se recoge la corriente están en

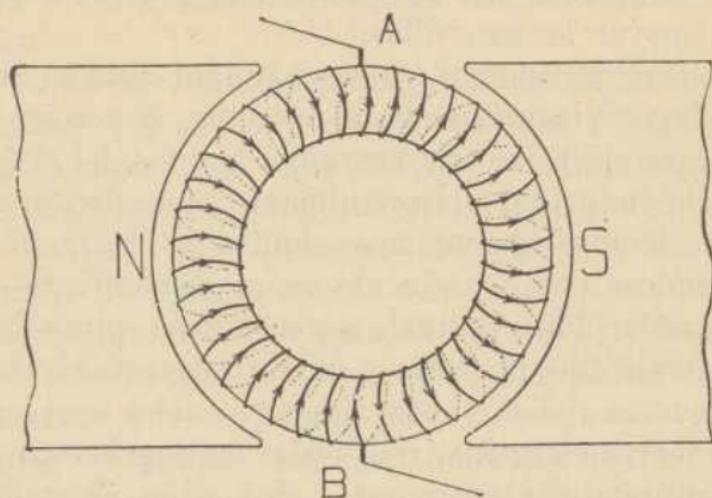


Fig. 31. — Inducido anular de un alternador: A y B son los dos extremos del devanado, entre los cuales se recoge la fuerza electromotriz; ésta alcanza su máximo valor en las posiciones A y B.

el eje o recta que une los polos; ella aumenta en seguida, para alcanzar su máximo valor cuando aquellas espirales pasan por la línea neutra, después disminuye de nuevo, se anula y aumenta para reemprender, después de un giro del inducido, sucesivamente los mismos valores en el segundo y siguientes giros (fig. 32). La corriente así obtenida varía periódicamente de intensidad, y se designa con el nombre de corriente *alterna*.

Los extremos de las espirales diametralmente

opuestas de las que se recoge la fuerza electromotriz inducida pueden estar unidos cada uno con un anillo conductor, montado y fijo sobre el eje de la máquina : sobre cada uno de estos anillos se apoya una escobilla fija, la cual está conectada a los bornes de la máquina. Supon-

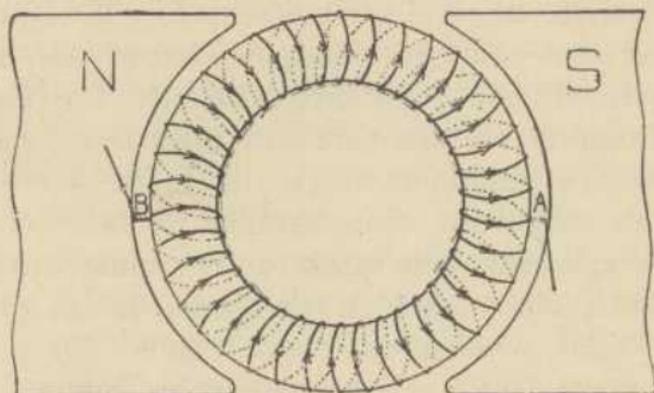


Fig. 32. — Inducido anular de un alternador: en las posiciones A y B la fuerza electromotriz es nula.

gamos, para fijar las ideas, enumerados estos bornes y, por consiguiente, los anillos correspondientes y las dos espirales a las que respectivamente se enlazan ; con los números 1 y 2 distinguiremos los dos bornes y las dos espirales correspondientes. Mientras que el inducido gira media circunferencia, las espirales 1 y 2 pasan de un punto de la línea neutra al otro diametralmente opuesto, esto es, se invierten sus posiciones respecto al inducido : podemos admitir que en la semirrevolución del inducido, la corriente del mismo sale por el borne 1 para pene-

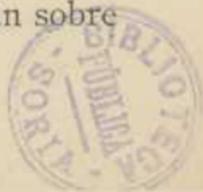
trar por la espiral 2 ; pero en la segunda semirrevolución del inducido, siendo inversa la posición actual de las espirales con respecto a la que antes ocupaban, la corriente saldrá por el borne 2 para entrar por el borne 1. En otras palabras, durante una revolución completa del inducido, la corriente cambia una vez de sentido ; después de un giro, toma el mismo sentido que al principio, para cambiar el mismo después de otra semirrevolución y así sucesivamente. La fuerza electromotriz de una corriente alterna es, pues, variable, y cambia en un giro del inducido no tan sólo de magnitud, sino también de sentido.

La máquina generatriz de corriente alterna se llama *alternador*. A semejanza de las dínamos, ellas pueden contener más de dos polos inductores, pero el número de los mismos es siempre par. Las observaciones y estudios hechos sobre los alternadores bipolares son aplicables a los multipolares. Basta recordar para ello que a un giro del inducido de un alternador bipolar corresponde una fracción de giro en el caso de que tenga la máquina más de dos polos. Si representamos por $2p$ el número de polos, p el número de pares de polos, se podrá decir que a una revolución del inducido de un alternador de $2p$ polos corresponden p revoluciones del inducido de un alternador bipolar. El aumento del número de polos equivale, pues, a un acrecentamiento de la velocidad de rotación del inducido de un alternador bipolar.

En fin, en lugar de un solo devanado indu-

cido, se proveen frecuentemente de varios devanados idénticos, pero independientes los unos de los otros. Si se recogen las fuerzas electromotrices entre dos espirales diametralmente opuestas en cada uno de los devanados distintos, se obtiene una corriente alterna *polifásica*, y cada uno de los devanados constituye una *fase*. Si hay dos devanados distintos, la corriente es *bifásica*; si hay tres, llámase *trifásica*. Estos son los dos casos más generalmente adoptados. Por analogía se llama corriente alterna *simple* o *monofásica* la corriente producida por un alternador cuyo inducido posee sólo un devanado.

Es preciso hacer aquí una advertencia importante relativa a los devanados de los alternadores de corriente difásica y trifásica. En el caso de corriente difásica, las dos espirales de cada uno de los dos devanados que forman las extremidades de dichos devanados y entre las que se recoge la corriente, son diametralmente opuestas: pero las del primer devanado no ocupan sobre el anillo la misma posición que las del segundo; los diámetros que enlazan a las unas y a las otras no se confunden, sino que, por el contrario, forman un ángulo recto. Para fijar las ideas distinguiremos los devanados designándolos por los números 1 y 2, y llamaremos extremos de los devanados las espirales de los mismos que están enlazadas a los bornes de la máquina (fig. 33). Estudiaremos lo que ocurre cuando el inducido gira en el campo magnético inductor. Cuando los extremos del devanado 1 están sobre



la línea neutra, los del devanado 2 se encuentran sobre el eje de los polos : la fuerza electromotriz del devanado 1 es entonces nula, mientras que la del devanado 2 alcanza su máximo valor : si el inducido continúa girando, la fuerza electromotriz aumenta en las extremidades del devanado 1 y disminuye por el contrario en el devanado 2. Cuando los extremos del devanado 1 están sobre la línea de los polos, la fuerza electromotriz del mismo alcanza su máximo valor, mientras que la del devanado 2 es nula, pues sus extremos están sobre la línea neutra ; tan pronto cambia de sentido en este devanado, aumentando, la fuerza electromotriz del devanado 1 disminuye en seguida. Es decir, las fuerzas electromotrices recogidas en los extremos de los dos devanados no adquieren jamás simultáneamente su máximo valor, o el valor cero. Se dice que una es retardada respecto de la otra un cuarto de giro del inducido, y más propiamente dicho, un cuarto de período ; este retardo se llama *desplazamiento de fase* de una fuerza electromotriz respecto de la otra fuerza.

En el caso de la corriente trifásica, realízase igualmente un desplazamiento de las fuerzas electromotrices producidas por cada uno de los tres devanados ; este retardo corresponde a la duración de un tercio del giro del inducido, esto es, a un tercio de período (fig. 34).

Sean A y B los extremos del devanado 1, A' y B' los del devanado 2, y A'' y B'' los del devanado 3 ; los extremos de cada uno de estos

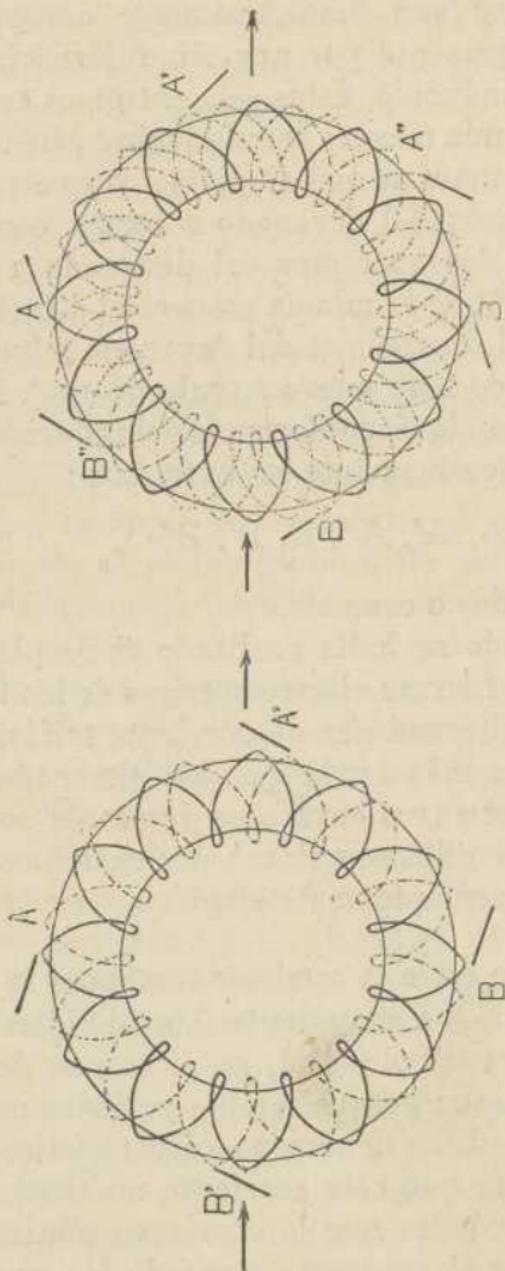


Fig. 33. — Devanado difásico: los trazos continuos representan la fase 1; A y B, los extremos de este devanado; la línea de trazos representa la fase 2; A' y B', sus extremos.

Fig. 34. — Devanado trifásico: los trazos continuos representan la fase 1; A y B, sus extremos; la línea de trazos, la fase 2, siendo A' y B' sus extremos; y la línea de puntos, la fase 3, siendo A'' y B'' sus extremos.

tres devanados son diametralmente opuestos. Pero si se representa por una circunferencia el contorno del inducido, estos seis extremos están repartidos de una manera regular sobre este contorno, de tal manera que el diámetro que pasa por los extremos del devanado 2 forma con el que pasa por los extremos del devanado 1 un ángulo de 120° ; de la misma manera el diámetro que pasa por los extremos del devanado 3 forma con el devanado 2 un nuevo ángulo de 120° . Recorriendo, pues, la circunferencia del inducido se encuentran sucesivamente los extremos :

A, A', A'', B, B', B''

de los devanados o carretes.

De este modo se halla realizado el desplazamiento de las fuerzas electromotrices de las tres fases en los alternadores de corriente trifásica.

Ya veremos más tarde que los alternadores trifásicos poseen tres bornes en lugar de seis : en cada uno de ellos se enlazan dos extremos de devanado convenientemente elegidos.

Comparación entre la corriente continua y la corriente alterna. — La corriente llamada alterna, sea monofásica o polifásica, se distingue de la corriente continua porque cambia periódicamente de sentido. Este fenómeno característico es la razón por la que esta corriente no tiene las mismas propiedades que la corriente continua, poseyendo por el contrario otras de las cuales carece esta última.

Veamos primeramente cuáles son las propiedades de la corriente alterna, y los fenómenos debidos a la misma, que hemos de tener presentes en su estudio.

Acabamos de hablar más arriba del período de una corriente alterna : cuando esta corriente está engendrada por un alternador bipolar, el período viene dado por la duración de un giro completo del inducido en el campo magnético. Más exactamente aún, la duración de un período es el tiempo transcurrido entre los dos instantes consecutivos en los que la fuerza electromotriz recogida en los bornes alcanza el mismo valor, en el mismo sentido. Se comprende fácilmente que esta duración es la de una rotación del inducido, si la máquina es bipolar ; pero si el número de polos es igual a $2p$, el período de la corriente alterna es entonces p veces más corto que cuando la máquina tiene tan sólo dos polos. En otras palabras, en una revolución o giro, en el alternador de $2p$ polos, la fuerza electromotriz habrá pasado p veces por su máximo valor, por ejemplo, en el mismo sentido, puesto que el mismo extremo del devanado habrá pasado delante de p polos el mismo número de veces.

La corriente alterna que engendra un alternador está definida por su *frecuencia*, entendiéndose por tal el número de períodos por segundo. Según esta definición y la de período, si se representa con n el número de revoluciones por minuto que da la máquina, el número de revolu-

ciones por segundo será $\frac{n}{60}$; si el alternador es bipolar, la frecuencia es igual al número de revoluciones por segundo, o sea $\frac{n}{60}$. Pero si el alternador tiene $2p$ polos, la frecuencia es p veces mayor que la anterior, es decir, que la frecuencia será, representando la misma por f :

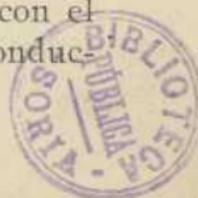
$$f = \frac{np}{60}.$$

Se ve, pues, que la frecuencia de una corriente alterna depende directamente de la velocidad de rotación del alternador; y como en una red conviene que la frecuencia sea constante, es preciso vigilar en la central eléctrica para mantener constante la velocidad de rotación del alternador.

La corriente alterna pone en evidencia un fenómeno que, a causa de las variaciones continuas de esta corriente, puede alcanzar una cierta importancia en el circuito recorrido por la misma.

Este fenómeno es el de la *autoinducción* (*self-induction*). Cuando un conductor está colocado en un campo magnético, la superficie determinada y limitada por aquél está cortada por un flujo, y ya hemos visto que si este flujo varía, el conductor es recorrido entonces por una corriente eléctrica inducida. En las máquinas generatrices, la variación del flujo es debida al

movimiento del conductor en el campo magnético, pero esta variación puede provenir también de la variación de intensidad del campo magnético mismo. Recordado este principio, fijémonos por otra parte en que toda corriente que recorre un conductor crea o engendra alrededor del mismo un campo magnético cuya intensidad depende de la de la corriente. Así, pues, se produce un flujo de fuerzas a través de todo circuito eléctrico, debido a la existencia misma de una corriente eléctrica en este conductor. Si la intensidad de la corriente varía, la del campo magnético creado por esta corriente también varía, así como el flujo de fuerzas que atraviesa la superficie limitada por el conductor. Esta variación del flujo da lugar en el conductor mismo a una fuerza electromotriz inducida, y como ella proviene de la corriente que recorre este mismo conductor, ésta es la fuerza electromotriz de autoinducción (o self-induction, en inglés, en que self significa por sí mismo). Así, pues, cuando una corriente alterna atraviesa un conductor, ésta crea un campo magnético, el cual cambia periódicamente de intensidad y sentido, como la corriente: y las variaciones de este campo magnético en la proximidad de este conductor crean una fuerza electromotriz de autoinducción, cuyo valor varía también periódicamente. Esta fuerza electromotriz última actúa en el conductor como una nueva resistencia, desempeñando un papel que ofrece una cierta analogía con el que desempeña la resistencia misma del conduc-



tor, definida por la ley de OHM. La fuerza electromotriz de autoinducción depende no solamente del conductor mismo, sino también de la frecuencia de la corriente alterna ; en efecto, cuanto mayor es la frecuencia tanto más rápidas son las variaciones de la corriente y, por consiguiente, las del flujo de fuerza y mayor el valor de la fuerza electromotriz de autoinducción. Hemos de hacer notar, en fin, que esta fuerza electromotriz inducida tan sólo es sensible cuando el conductor está arrollado alrededor de un cuerpo magnético. Ya hemos visto que los cuerpos magnéticos aumentan notablemente la intensidad del campo magnético en el cual están colocados. Ahora bien, la intensidad del campo magnético, debido a una corriente, tiene un valor relativamente débil en el aire, demasiado débil para que en general la fuerza electromotriz inducida engendrada por las variaciones de este campo sea apreciable. Pero si existe un cuerpo magnético en el campo, su intensidad puede llegar a ser 100, 1.000, 2.000 y hasta 5.000 veces mayor, a causa de la sola presencia de este cuerpo, y la fuerza electromotriz de autoinducción toma a su vez un valor 100, 1.000, 2.000 y 5.000 veces mayor, lo que la hace muy importante. Así, pues, prácticamente tan sólo cuando el conductor esté arrollado alrededor de un cuerpo magnético se ha de tener en cuenta la fuerza electromotriz de autoinducción. Tal es el caso de gran número de conductores de aparatos como los electromotores y máquinas generatrices construídas con hierro.

Si se compara, pues, lo que ocurre en dos circuitos eléctricos, de la misma resistencia, y que se hallen en las mismas circunstancias, pero recorrido el uno por una corriente continua y el otro por una corriente alterna, la potencia absorbida por el primer circuito es superior a la absorbida por el segundo, suponiendo igual diferencia de potencial entre los bornes.

A causa de la autoinducción, la intensidad de la corriente eléctrica será más débil en el circuito recorrido por la corriente alterna que en el recorrido por la corriente continua. Como la potencia P es, en este caso, igual al producto de la diferencia de potencial U entre los dos extremos del circuito por la intensidad I de la corriente, ella será menor para la corriente alterna que para la continua.

Estudiando de cerca estos fenómenos, se observa que la autoinducción no es comparable, en toda la extensión del circuito, a la resistencia del mismo: ya hemos visto que a causa de la resistencia del circuito, parte de la energía eléctrica absorbida por él se transformaba en calor: bajo esta forma la energía se puede utilizar para la calefacción y alumbrado. En la autoinducción no ocurre nada semejante: una parte de la intensidad de la corriente contribuye, no a elevar la temperatura del conductor, sino a crear un campo magnético alrededor del conductor, el cual campo varía sin cesar con la corriente. La potencia absorbida por el circuito será, pues, más pequeña que el producto de la dife-

rencia de potencial por la intensidad de la corriente. Se denomina *factor de potencia* la relación de la potencia de un circuito recorrido por una corriente alterna de intensidad I bajo una diferencia de potencial U al producto de U por I ; y se representa este factor de potencia por el signo *coseno* φ . Por definición tendremos, pues :

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} \quad \text{de donde } P = UI \cos \varphi.$$

Esta relación *cos* φ es menor que la unidad. Su valor será igual a 1 cuando el circuito no presenta autoinducción alguna, o bien cuando ella es absolutamente despreciable.

En lo que respecta a los efectos de la corriente alterna, comparados con los de la corriente inducida, son los mismos, cuando dichos efectos son independientes del sentido de la corriente nombrada.

Así, por ejemplo, la temperatura de un conductor recorrido por una corriente se eleva, cualquiera que sea la naturaleza de la misma. Así, pues, la corriente alterna provoca un calentamiento del conductor, a semejanza del que produce la corriente continua.

Pero mientras que esta última descompone las disoluciones acuosas de determinados compuestos a las cuales atraviesa, la corriente alterna no ejerce acción química alguna : la acción química de una corriente depende en efecto del sentido de la corriente ; si ésta varía a cada ins-

tante, el efecto producido por la corriente en un sentido será inmediatamente destruído por la corriente que marcha en sentido contrario, y el efecto final será nulo.

Lo mismo ocurre en lo que se refiere a las acciones electromagnéticas de la corriente: un conductor recorrido por una corriente alterna no ejerce acción alguna sobre el imán, pues esta acción cambia cada momento de sentido. Substituyendo el imán por otro conductor recorrido igualmente por una corriente alterna, de la misma naturaleza que la que atraviesa el conductor primero, estos dos conductores ejercen entre sí una acción recíproca que se puede percibir: ésta será siempre del mismo sentido a la vez en los dos conductores.

En fin, nos resta responder a la siguiente cuestión, que tal vez se proponga el lector que haya leído cuanto precede: cuando se habla del valor de la intensidad, o de la diferencia de potencial de una corriente alterna, ¿de cuál valor se trata, puesto que la intensidad de una corriente alterna toma en un período todos los valores comprendidos entre cero y el máximo valor que ella puede alcanzar en el circuito que se considera? En otras palabras, si se intercala un amperímetro en un circuito recorrido por una corriente alterna, la aguja sufre una desviación, y contrariamente a lo que pudiera creerse, ella permanece fija. Nada indica, pues, que la corriente que atraviesa el amperímetro sea esencialmente variable. Hagamos notar desde luego que la agu-

ja del amperímetro no tiene tiempo para seguir todas las variaciones de la corriente: esto es fácil de comprender si se considera que el número de períodos por segundo de las corrientes industriales varía entre 16 y 60; la duración de un período será, pues, de $\frac{1}{16}$ de segundo como máximo, y la aguja permanece fija. Pero, ¿sobre qué graduación se detiene? La intensidad indicada no es ni su valor máximo ni tampoco su valor medio, sino la llamada intensidad *aficaz*. Se define la intensidad eficaz de una corriente alterna, diciendo que es la que tendrá una corriente continua que, recorriendo el mismo circuito que recorre la corriente alterna en cuestión, produzca exactamente los mismos efectos, y dé lugar a un calentamiento igual del conductor: o lo que es lo mismo, si hubiese un amperímetro intercalado en el circuito, la intensidad indicada por la corriente alterna sería la que tuviese una corriente continua que produjese una igual desviación de la aguja del amperímetro.

La diferencia de potencial y la fuerza electromotriz dadas sobre un voltímetro por sus valores eficaces son también definidas como los valores eficaces de la intensidad de la corriente.

Existe una relación entre los valores eficaces y los valores máximos de una intensidad y de una diferencia de potencial. El valor eficaz es igual al valor máximo dividido por $\sqrt{2}$.

Si representamos por I_m el valor máximo de

una intensidad de corriente, y por I su valor eficaz, se tendrá :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}};$$

igualmente el valor de la fuerza electromotriz eficaz será :

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}.$$

Así, pues, si un voltímetro enlazado con los bornes de un alternador indica 2.000 voltios, el máximo valor que momentáneamente alcance la fuerza electromotriz será :

$$E_m = 2.000 \times \sqrt{2}$$

puesto que

$$E_m = \sqrt{2} E.$$

Así, pues : $2.000 \times 1,414 = 2.828$ voltios.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCION DE DINAMOS

Generalidades.— Los órganos esenciales de una máquina son : los inductores, el inducido y el colector.

Los inductores son fijos, mientras que el inducido y el colector constituyen los órganos móviles de la máquina.

A estos órganos, definidos por el papel que desempeñan desde el punto de vista eléctrico, se añaden elementos indispensables a toda máquina, tales como el eje sobre el que está montado el inducido, los cojinetes que soportan aquel eje y la armazón misma de la máquina. Pero la armazón forma parte de los inductores ; esta armazón encierra la máquina, constituyendo un todo completo por una parte, y por otra enlaza entre sí los polos del electroimán o electroimanes, si es que hay muchos pares de polos, que constituyen los inductores.

El inducido y el inductor están convenientemente calculados para que respondan a las condiciones de funcionamiento de la máquina, sacando la mayor ventaja posible de la materia em-

pleada en su construcción. Recordemos que se trata de obtener electricidad y que la fuerza electromotriz de la máquina es tanto más elevada, cuanto mayor es la intensidad del campo magnético en el que se mueve el inducido. Así, pues, lo que conviene es la creación de un campo magnético intenso y utilizar lo mejor posible este campo. La primera condición es fácilmente realizable gracias a la propiedad que tienen los cuerpos magnéticos, tales como el hierro, de aumentar por su única presencia en el campo la intensidad del mismo. En la dínamo, el campo magnético es el de los carretes del electroimán o electroimanes que constituyen el inductor, y su intensidad es notablemente aumentada a causa de los núcleos de hierro alrededor de los cuales están arrollados los carretes inductores. De estos órganos emanan, pues, las líneas de fuerza entre las que se mueve el inducido: estas líneas van del polo norte al polo sur más próximo. Como conviene utilizar estas líneas de fuerza cortándolas con el devanado del inducido, se las concentra en la proximidad del conductor del inducido, arrollando este conductor en un núcleo de hierro; sin la presencia de este núcleo magnético del inducido, las líneas de fuerza se repartirían en el espacio libre entre los dos polos inductores, y serían mucho menos densas en las proximidades del conductor. Se tendría un flujo de fuerza perdido, que podría tener una gran importancia. Aun con la disposición adoptada, parte del flujo se pierde; pero se reduce esta

pérdida disminuyendo cuanto más sea posible el espacio libre que queda entre la superficie del polo inductor dirigido hacia el inducido y el inducido mismo : este espacio libre lleva el nombre de *entrehierro*. En una máquina bien calculada, el entrehierro está reducido al mínimo que permita al inducido girar entre los polos que le rodean sin rozar con ellos. Si continuamos siguiendo la trayectoria seguida por las líneas de fuerza, veremos que éstas atraviesan el polo sur para volver a penetrar por el polo norte por el exterior de la máquina. En este caso se evita una pérdida de flujo en el espacio, concentrándola en la armadura de la máquina, construída igualmente de hierro (fig. 26).

Los órganos principales de una máquina son, pues, de hierro o acero. Como se ha de sacar partido de las propiedades magnéticas del hierro, se escogerá, sobre todo para los núcleos inductores, un acero cuyo coeficiente de permeabilidad sea muy elevado, es decir, que tenga la propiedad de aumentar la intensidad del campo magnético en una proporción muy grande. Por otra parte, el acero es preferible al hierro a causa de su propiedad de conservar un poco la imantación cuando cesa la corriente que produjo el campo magnético. Ya veremos más adelante el interés que presenta esta imantación, a la que se le da el nombre de *magnetismo remanente*.

El núcleo del inducido y la armadura de la máquina han de ser de hierro, por la razón que exponemos a continuación : el todo así consti-

tuído forma un sistema en el interior del cual circulan las líneas de fuerza que no conviene que se dispersen. Ésta es precisamente la característica de las máquinas modernas, la de no presentar imantación alguna al exterior. Para darse cuenta de ello, basta aproximar un cuerpo magnético a la armadura de una dínamo en funcionamiento o actividad : se verá que la acción de la armadura es nula o muy débil, lo que demuestra que las líneas de fuerza no se escapan del circuito determinado por las mismas en el interior de la máquina. No ocurre lo mismo en las máquinas del tipo antiguo : el flujo perdido en ellas alcanza un valor importante, como se puede comprobar realizando la experiencia arriba indicada. Se constata fácilmente la imantación de los polos, por la atracción ejercida sobre los cuerpos que se aproximan a la máquina.

Tanto en los inductores como en los inducidos es preciso que hayan conductores que formen respectivamente el devanado inductor y el inducido.

El primero es recorrido por la corriente eléctrica que debe crear el campo magnético, y que proviene de una fuente cualquiera de electricidad que puede ser la máquina generatriz misma ; en el segundo es inducida la fuerza electromotriz de la máquina.

Estos devanados están constituídos por alambres o láminas de cobre, según su objeto e importancia : estos conductores están aislados sea por una o muchas capas de algodón, sea por bandas de tela aisladora. Importa sobre manera que



el aislante sea bueno y al mismo tiempo poco grueso, para que las dimensiones generales de la máquina sean tan pequeñas como sea posible. Los conductores se calientan como consecuencia del paso de la corriente, razón por la que se ha de evitar el empleo de aislantes sensibles a los débiles aumentos de temperatura sobre la del medio ambiente. El caucho, por ejemplo, no es indicado como aislante de los conductores destinados a los devanados de las máquinas : por otra parte, para obtener el mismo aislamiento a bajas temperaturas con una capa de caucho, que con una de algodón, se precisa para ello un mayor espesor de la capa aislante, que además se endurece y resquebraja a temperaturas relativamente bajas. En lo que a los órganos mecánicos de la máquina se refiere, a saber, el eje o árbol y cojinetes, deben estar calculados para soportar el peso del inducido y para poder transmitir la potencia que produzca la máquina bajo forma de energía eléctrica : pues no olvidemos que esta potencia recogida en los bornes de la máquina, calculada en voltios y amperios, es la energía mecánica transformada en el interior de la máquina, y que ella se presenta como una resistencia que debe vencer el motor que hace funcionar la máquina.

Por último, las máquinas están destinadas a girar, por lo general, a grandes velocidades ; cuanto mayor es la velocidad de rotación, tanto más grande será la fuerza electromotriz de la máquina. Tiénese, por esta razón, gran interés

en comunicar a las máquinas grandes velocidades, para aumentar así la fuerza electromotriz y, por consiguiente, la potencia de la máquina : ello trae aparejado necesariamente un especial cuidado en el estudio y construcción de los cojinetes sobre los cuales descansan y frotan los ejes.

La cuestión del engrasado es también muy importante a causa de la rapidez con que gira el inducido.

Inductores. — Este órgano, según hemos dicho, constituye el cuerpo mismo de la máquina. Los inductores comprenden : la armadura, los núcleos inductores, sobre los cuales están montados los carretes inductrices, y los polos propiamente dichos o piezas polares. A una pieza polar norte corresponde siempre una pieza polar sur, e inversamente.

La forma de los inductores difiere de un tipo de máquinas a otros : esta diferencia es sobre todo notable en las máquinas antiguas. Las de moderna construcción tienen todas sensiblemente la misma forma o al menos la misma disposición general.

Las máquinas antiguas tan sólo tenían dos polos : cuando se trató de aumentar el número de pares de polos fué cuando se debió imaginar una nueva disposición para los inductores. Tan sólo las máquinas bipolares han conservado la misma forma.

Las formas de las máquinas de tipos antiguos

están representadas en las figuras 24 y 25. La primera representa una máquina GRAMME y la segunda una máquina del tipo MANCHESTER.

Ya sabemos que el campo magnético se puede representar como surcado por líneas de fuerza que van del polo norte al polo sur pasando a través del inducido, y del polo sur al polo norte a través de la armadura y los núcleos inductores. Las líneas de fuerza recorren, pues, un cierto trayecto al que se le da el nombre de *circuito magnético*. Este circuito está particular y perfectamente definido cuando está formado por cuerpos magnéticos, pues entonces, como nosotros hemos visto, el hierro tiene la propiedad de concentrar las líneas de fuerza : tan pronto como las líneas de fuerza penetran en el aire, se reparten por el espacio próximo para venir a cerrarse sobre el cuerpo magnético próximo que ellas encuentran a su paso. En las máquinas GRAMME las dos piezas polares están colocadas la una enfrente de la otra, abarcando la mayor porción posible del inducido ; pero para que las líneas de fuerza se concentren en el inducido es preciso dejar un cierto espacio libre entre ambas piezas ; este espacio está ocupado por el aire ; ahora bien, una parte de estas líneas de fuerza se escapan por estas extremidades perdiéndose en el vacío. Y decimos que se pierden desde el punto de vista eléctrico, pues aquellas que son útiles para la formación de la fuerza electromotriz inducida son únicamente las que atraviesan el inducido.

Débedo a ello, aproximando a las piezas polares de una máquina de GRAMME la hoja de un cuchillo, por ejemplo, se observa una cierta atracción, es decir, la existencia de un campo magnético en las proximidades de los polos sin que este campo magnético así perdido sea utilizado en el inducido. Las piezas polares están montadas cada una sobre un núcleo inductor. Las otras dos extremidades del núcleo inductor están unidas entre sí por la armadura de la máquina, siendo ésta de fundición o acero, que a la vez constituye el zócalo o pedestal de la máquina.

Mejor utilización del flujo se obtiene en el inducido, constituyendo un circuito de líneas de fuerza completamente cerrado: esto es lo que justamente ocurre en las máquinas del tipo MANCHESTER, y en las de construcción moderna (figura 26).

En las primeras los núcleos inductores están colocados lateralmente en la máquina y forman una especie de paredes laterales: la armadura de la máquina es como la de la máquina de GRAMME, con la diferencia de que la pieza de fundición o de hierro que une los extremos inferiores del núcleo inductor es completamente cerrada. Los extremos superiores del núcleo inductor están unidos por una pieza idéntica a la de la cara opuesta. Estas cuatro piezas, dos núcleos inductores verticales y dos piezas de fundición horizontales, forman un rectángulo en el interior del cual está colocado el inducido. Pero es preciso



conducir las líneas de fuerza del campo inductor en el espacio comprendido en el interior del rectángulo que acabamos de definir y proveer a éste, con este fin, de dos piezas salientes, la una enfrente de la otra, ambas de acero, que constituyan los polos de la máquina ; entre estos polos girará el inducido.

Este último tipo de dínamo presenta un gran número de ventajas sobre la máquina de GRAMME : una mejor utilización del flujo y mejor distribución de éste en el inducido. La primera ventaja es de orden económico ; la segunda de orden técnico.

Es preciso que el electricista encargado de la vigilancia y entretenimiento de una sala de máquinas sepa que el constructor de las máquinas confiadas a su custodia calcula y estudia para sacar, al construir dichas máquinas, el mayor número de ventajas del material empleado en la construcción de las mismas para reducir el peso de ella, y como consecuencia, el precio de la misma. Ahora bien, la fuerza electromotriz de la máquina es tanto más grande cuanto mayor es el flujo cortado por el inducido : si el flujo que se pierde en una máquina de GRAMME se pudiese volver a hacer pasar al espacio en el que se mueve el inducido se observaría que dicha máquina girando a la misma velocidad desarrollaría una fuerza electromotriz más elevada, y su potencia aumentaría en la misma relación. En las máquinas tipo MANCHESTER se llega a reducir notablemente esta pérdida de flujo.

La ventaja de orden técnico de la máquina de este último tipo sobre el tipo anterior, y que proviene de una más regular repartición del flujo en el inducido, se comprende fácilmente si recordamos las condiciones según las cuales se engendra la fuerza electromotriz de la máquina : recordemos que la línea neutra corta el devanado del inducido en dos mitades, y que en cada una de ellas las variaciones del flujo a través de una espiral deben tener lugar de una manera rigurosamente simétrica para que la máquina funcione en buenas condiciones.

Esta simetría en las dos mitades del inducido, condición que no se cumplía en la máquina GRAMME, se llena perfectamente en la máquina del tipo MANCHESTER.

Pero presenta un inconveniente que se ha remediado en las máquinas modernas.

Si se sigue la trayectoria de una línea de fuerza partiendo de un núcleo inductor, se encuentran (fig. 25) : el núcleo inductor, la pieza superior de la armadura montada sobre el núcleo inductor, un polo, el inducido, el segundo polo fijado a la armadura inferior, y se vuelve de nuevo al núcleo inductor. No teniendo en cuenta el inducido y el entrehierro comprendido entre el inductor y el inducido, absolutamente indispensable, se encuentran o atraviesan cinco piezas en el inductor, relacionadas y atornilladas las una a las otras ; pero cualquiera que sea el dispositivo adoptado para fijar unas piezas a otras, es imposible evitar ciertas juntas, por

pequeños que sean sus espesores : ahora bien, estas juntas se comportan como entrehierros, y ocasionan la pérdida de una parte de flujo, la cual en lugar de pasar o saltar de una pieza a otra directamente, se escapa y difunde en el espacio próximo y no sigue, por consiguiente, la trayectoria impuesta.

En fin, como ya hemos dicho, las disposiciones adoptadas en estos primeros tipos no se prestan a la adición de nuevos pares de polos. Esta última consideración, y la relativa a la pérdida de flujo en el espacio privado de hierro, como ocurre en la máquina de GRAMME, o por las numerosas juntas de las máquinas del tipo MANCHESTER, ha conducido a los perfeccionamientos llevados a cabo en las máquinas modernas que vamos a estudiar con todo detenimiento en sus detalles (fig. 26).

El cuerpo de estas máquinas está constituido tan sólo por su armadura ; ésta está construída de hierro o de fundición ; es una corona absolutamente cerrada, en el interior de la cual se montan y disponen los núcleos inductores y los polos. Haremos notar a este propósito que los núcleos inductores, que están cada uno destinados a recibir un carrete inductor, están colocados entre la armadura y la pieza polar ; es, pues, preciso dejar libre uno de sus extremos para el montaje del carrete. Se adopta para ello una de las siguientes soluciones : los núcleos inductores constituyen una sola pieza de fundición con la armadura, y las piezas polares están unidas al

núcleo inductor, sobre el cual se atornillan después de colocados los carretes o bien los núcleos inductores están fijados a la armadura ; en este caso, ellos forman, por lo común, un todo único con la pieza polar, y los carretes se montan antes de fijar los núcleos a la armadura.

Con una u otra solución se reduce el número de juntas, lo cual es justamente lo que se trata de buscar con el fin de disminuir la pérdida de flujo.

Por último, se pueden montar en el interior de la armadura tantos pares de polos como se deseen ; basta para ello dar a la corona que forma la armadura un diámetro lo suficientemente grande para el número de polos que se deseen colocar (fig. 27).

En cuanto se refiere a la naturaleza del metal empleado para la construcción de los núcleos inductores y de los polos, hay tendencia cada día mayor a construirlos de piezas o planchas de acero, aisladas las unas de las otras por capas delgadas de papel y cuidadosamente juntas y comprimidas. Si los núcleos inductores forman un conjunto único de fundición con la armadura, entonces, tan solo las piezas polares están formadas por láminas. En caso contrario, tanto los núcleos como los polos estarán así constituidos. El empleo de piezas o láminas, aisladas las unas de las otras, presenta la ventaja sobre las piezas macizas de que reducen notablemente las pérdidas ocasionadas por las corrientes llamadas de *FOUCAULT*. Estas son corrientes que se

producen o engendran en las masas metálicas, tales como los órganos inductores que están colocadas en un campo magnético variable cuando el inducido gira, pues el inducido, cuyo devanado está recorrido por una corriente, crea un campo magnético que se combina con el campo magnético inductor y da lugar a variaciones de intensidad del campo magnético resultante. El aislamiento de las planchas o láminas reduce la intensidad de las corrientes inducidas que se producen, y, por consiguiente, las pérdidas a que por calentamiento dan lugar.

Hemos de consignar que, sin embargo, constrúyense aún hoy día máquinas de núcleos inductores y piezas polares de acero macizo. En las máquinas de pequeña potencia, en particular, no se recurre, por lo general, al empleo de láminas para construir los inductores.

Los carretes inductores se preparan generalmente y se arrollan antes de montarlos sobre los núcleos inductores. Únicamente en el caso en que el conductor tenga una gran sección se arrolla directamente sobre la máquina, principalmente cuando el devanado está formado por láminas de cobre a las cuales se las da, sobre el lugar mismo, la curvatura deseada para que adopten la forma de los inductores.

Cuando por el contrario el conductor es un alambre fácilmente manejable se arrolla sobre un tubo de cartón cuya sección es la del núcleo inductor.

El tubo está provisto en sus extremos de rebordes con el fin de que el carrete quede perfectamente separado y aislado de la masa de la máquina (fig. 35). Los hilos o conductores están aislados con algodón ; desde hace algunos años se emplean también hilos esmaltados. Conviene tener mucho cuidado al arrollar el conductor sobre el carrete de no estropear el aislante, pues un pequeño arañazo en el mismo puede destruir su eficacia.

La operación que exige mayor cuidado es el montaje de los carretes inductores. La posición de los polos de la máquina depende del sentido del devanado y del sentido de la corriente que recorre el carrete.

En una máquina bipolar, el polo norte está enfrente del polo sur. Como a cada polo le corresponde un carrete inductriz, el sentido del devanado debe ser tal, que, si se supone un hombre echado a lo largo del conductor, en tal forma que la corriente le entre por los pies y le salga por la cabeza, y que mire al núcleo inductor, el polo norte del núcleo considerado caiga a su izquierda, aplicándose esta regla a ambos núcleos inductores. La figura 26 indica el modo cómo se han de conectar los dos carretes inductrices de una máquina bipolar, de construcción moderna, admitiendo que los devanados de los dos carretes son de sentido contrario.

En las máquinas multipolares, todo polo norte esta comprendido entre dos polos sur, e inversamente. En otras palabras, a un polo norte le su-

cede un polo sur, a éste uno norte y así sucesivamente.

En este caso pueden adoptarse muchas maneras de conectar o enlazar los carretes inductrices : pueden enlazarse todos ellos en serie, o por grupos de varios carretes en paralelo.

Cualquiera que sea el método adoptado, el principio es siempre el mismo : los carretes de polos de nombres contrarios deben estar ambos arrollados en el mismo sentido y ser recorridos por corrientes de sentido contrario, o, inversamente, estar arrollados en sentidos distintos y ser recorridos por corrientes de un mismo sentido (fig. 36).

Para definir el sentido del devanado de un carrete terminado, basta tomar el extremo de la espiral de la capa inferior y seguir el conductor, cuando el carrete está colocado sobre el núcleo.

Si se comparan los dos sentidos, según los cuales se arrollan alrededor del núcleo dos carretes próximos, se llega fácilmente a comprender lo que se entiende por sentidos de devanado idénticos o inversos.

Supongamos, para fijar las ideas, una máquina multipolar, en la que todos los carretes inductrices, completamente idénticos, están dispuestos de la misma manera sobre los núcleos inductores, y que deben ser montados en serie (fig. 36). Distinguiremos los dos extremos de cada carrete designando el hilo de entrada por *E* y el extremo de salida por *S*; el hilo de entrada será, convencionalmente, el extremo del conduc-

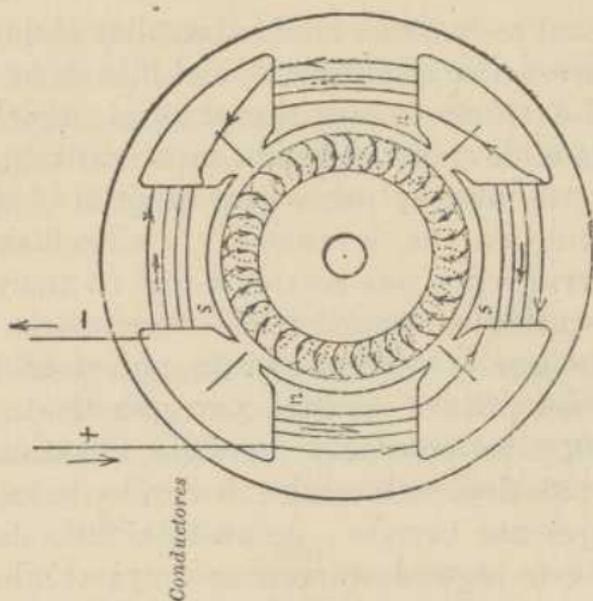


Fig. 36. — Esquema de las conexiones entre los carretes inductores de una máquina multipolar en serie; n y s representan los polos inductores, conforme al sentido de la corriente admitido en el devanado.

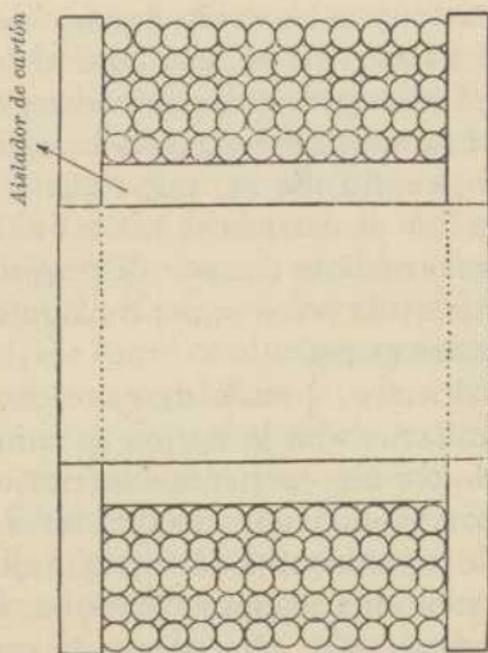


Fig. 35. — Carrete inductriz



tor por el cual se ha comenzado a arrollar el devanado (convención arbitraria) ; y el hilo de salida será el extremo de la última espiral, aquel que termina el devanado sobre la capa superior. Estos carretes tienen, pues, por hipótesis, el mismo sentido en sus devanados ; y ellos han de ser recorridos por una corriente que no tiene el mismo sentido en dos carretes consecutivos. Supongamos que la corriente entra por el hilo de entrada del primer carrete, correspondiente, por ejemplo, a un polo norte : el hilo de salida de este carrete debe enlazarse con el hilo de salida del siguiente carrete ; después, el hilo de entrada de este segundo carrete se unirá al hilo de entrada del tercero ; el de salida de éste, al de salida del cuarto, y así sucesivamente, hasta que se llegue al último carrete, en el que el hilo de salida quedará libre para conectarlo al segundo borne de la máquina generatriz de corriente que alimenta al circuito. Se ve, pues, que si se comienza por un hilo de entrada se hallará al fin un hilo del mismo nombre en esta disposición, puesto que el número de polos y, por consiguiente, el de los carretes es par.

Proponemos al lector, a modo de ejercicio, y para que se familiarice con la noción de campo magnético creado por una corriente eléctrica, estudiar el modo como se han de conectar los carretes inductores de una máquina del tipo GRAMME por una parte, y de una máquina MANCHESTER por otra. Las figuras 24 y 25 representan estos dos tipos de máquinas y en las que las trayec-

torias de las líneas de fuerzas están representadas mediante líneas de puntos ; recordemos que las líneas de fuerza salen siempre del polo norte para entrar por el polo sur, y de éste volver al polo norte a través de la armadura de la máquina.

Inducido. — El inducido constituye, como ya hemos visto, el órgano móvil de la máquina. Está constituido, en principio, por un anillo de hierro montado sobre un eje, que es el eje de la máquina : alrededor de este anillo están arrollados los conductores.

En las máquinas modernas se ha reemplazado el *anillo* por un *tambor*, formado por un conjunto de láminas de acero circulares, dispuestas las unas al lado de las otras sobre un eje y fuertemente sujetas entre sí, para formar un cilindro (al que precisamente se le da el nombre de tambor). Los conductores tan sólo están dispuestos sobre la superficie externa del tambor, en lugar de rodear el anillo, es decir, que un conductor de la superficie exterior, en lugar de conectarse con el conductor siguiente pasando entre el núcleo magnético y el eje, está enlazado a un conductor de la superficie exterior, convenientemente colocado con relación al primero. En realidad, existen aquí también las espirales del anillo, pero están formadas por dos conductores de la superficie exterior enlazados entre ellos por conexiones colocadas sobre las bases del tambor que constituyen las caras laterales del mismo.

No se ha abandonado completamente el uso de los inducidos de anillos, si bien su empleo es hoy muy restringido para ciertas máquinas de pequeña potencia. Poseen la ventaja, sobre los inducidos de tambor, de que su devanado es más fácil de ejecutar, pero su empleo tan sólo conviene en las máquinas que generan corriente de poca intensidad. El cuerpo o núcleo del inducido está constituido por un anillo de hierro o de alambres de hierro unidos entre sí, y a veces por láminas de acero, constituyendo un todo único. Los alambres de hierro o láminas de acero aisladas por una delgada capa de papel ofrecen una resistencia mucho mayor que una masa maciza al paso de corrientes inducidas que se engendran a causa del desplazamiento de esta masa conductora en el campo magnético. Estas corrientes no deben ser confundidas con las del devanado; estas últimas son utilizadas en el circuito que alimenta el generador; mientras que las corrientes inducidas en el núcleo no son recogidas y dan únicamente lugar al calentamiento del núcleo y, por consiguiente, a una pérdida de energía.

No tiene interés alguno que el devanado del inducido de anillo se haga directamente sobre éste; para ello es preciso que el conductor sea de sección bastante pequeña para poder ser manejado con facilidad. Se arrolla el conductor sobre el núcleo de un carrete, teniendo cuidado, sin embargo, de separar los extremos de cada espiral o grupo de espirales (dos, tres, cuatro y aún más), que han de soldarse a las dos láminas del

colector que corresponden a la espiral o grupo de espirales consideradas.

En las máquinas modernas de alguna importancia se adoptan, por lo general, inducidos de tambor. Por esta razón creemos de mayor utilidad detenernos en su estudio algo más de lo que lo hemos hecho para estudiar los inducidos del tipo de anillo y de los que no difieren sino en algunos detalles de su construcción como resultado de la diferencia del principio.

En los inducidos de tambor no existe ningún conductor entre el árbol y el núcleo del inducido: todo el devanado se dispone sobre la superficie externa del tambor.

Las láminas de palastro que constituyen el núcleo son punteadas antes de montarlas sobre el portaláminas del tambor (fig. 37) y recubiertas de una delgada capa de papel destinada a aislarlas entre sí para reducir la acción de las corrientes inducidas de las cuales hemos hablado más arriba. Las láminas de palastro están provistas de ranuras o espacios huecos en sus bordes con el fin de poder recibir los conductores. Los conductores alojados en estas ranuras están así colocados en la misma masa magnética, masa en la que el campo magnético alcanza, por inducción, una inten-

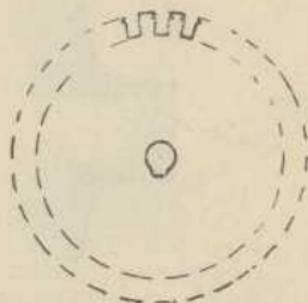


Fig. 37. — Lámina de palastro, directamente claveteada sobre el eje.



idad mayor que en el aire y aún superior que en la proximidad de cuerpos magnéticos. Entre dos escotaduras sucesivas están colocados lo que se llaman dientes del inducido, que forman las paredes de la escotadura : frecuentemente aquéllos tienen un pico o prolongación que sirve para cerrar la escotadura o hueco. El espacio libre comprendido entre los picos o extremos de dos dientes próximos está calculado muy exacta-

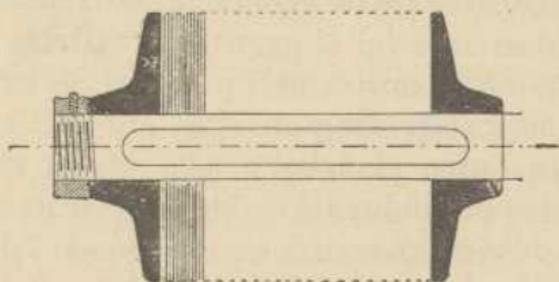


Fig. 38. — Láminas de palastro montadas directamente sobre el eje o árbol y comprimidas entre dos tuercas.

mente para que se pueda introducir el conductor en la escotadura que forman los dos dientes.

Las láminas de palastro así constituídas están comprimidas las unas contra las otras mediante tornillos y están montadas sobre el árbol del inducido.

En las máquinas pequeñas, las láminas de palastro se apoyan directamente sobre el eje : al hacerles las escotaduras se las agujereará por su centro, teniendo en cuenta que el orificio tenga el diámetro del árbol del motor y además vaya provisto del orificio central de una ranura que permita el paso a la claveta, que permitirá fijar

el conjunto al eje. A uno y otro extremo del cilindro de láminas de palastro van montados dos juegos de láminas prensas, el uno al tope y el otro a tornillo, que, comprimiendo al conjunto de láminas, le dé rigidez (fig. 38).

Cuando la máquina es de grandes dimensiones, sería costoso y absolutamente superfluo usar

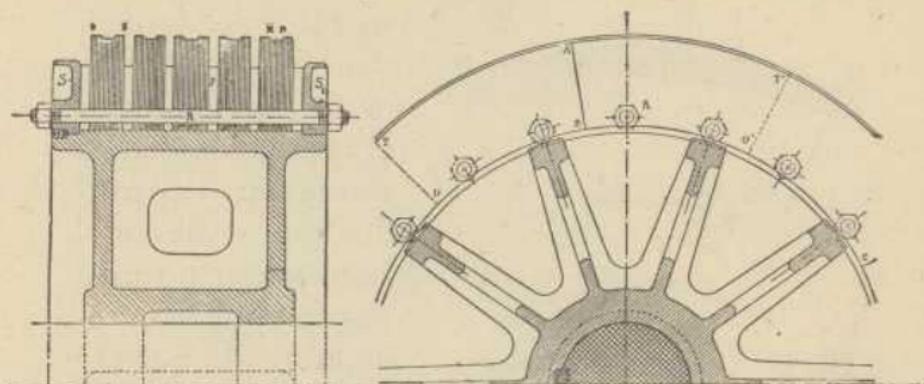


Fig. 39. — Láminas de palastro del inducido montadas sobre el inducido.

láminas de palastro macizas, utilizándose entonces únicamente la parte próxima a la superficie exterior, desde el punto de vista eléctrico y magnético. En lugar de hacer en el centro de cada lámina un orificio del diámetro del árbol o eje, se corta una sección circular de bastante diámetro, y las bandas o círculos anulares que forman las láminas de palastro son ensambladas y montadas sobre travesaños semejantes a las llantas de una rueda, travesaños éstos que a su vez están fijados sobre el eje del inducido (fig. 39).

Si el diámetro de las láminas de palastro es muy grande, en lugar de una sola banda circular se cortan segmentos circulares de tal modo que

en conjunto formen una banda circular, uniendo para ello aquellos segmentos convenientemente (fig. 40).

Estos segmentos estarán provistos también de ranuras en las que se alojarán los conductores. Es preciso tener en cuenta la elevación de temperatura que experimentan los conductores y el

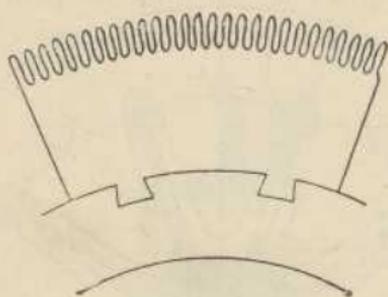


Fig. 40. — Segmento de palastro.

núcleo del inducido, debida al paso de la corriente por el conductor y a las corrientes inducidas que se desarrollan en la masa misma del núcleo, calentamiento que tan sólo se puede redu-

cir aislando las láminas entre sí. Para asegurar el enfriamiento del núcleo del inducido se provee éste de canales de ventilación. En lugar de un sólo paquete de láminas de palastro, el tambor de las máquinas de potencia elevada está formado por muchos paquetes: entre cada uno de ellos se deja un pequeño espacio libre en el cual circula el aire que penetra entre las láminas y el eje cuando la máquina funciona.

El devanado del inducido necesita un estudio particular que importa profundizar.

La cuestión que se ha de dilucidar es la siguiente: sobre el tambor que constituye el núcleo del inducido se ha repartido, con cuidado y regularidad, un número determinado, y siempre

par, de conductores, paralelos al eje del motor ;
¿ cómo se han de enlazar entre sí para que se
pueda recoger la fuerza electromotriz inducida

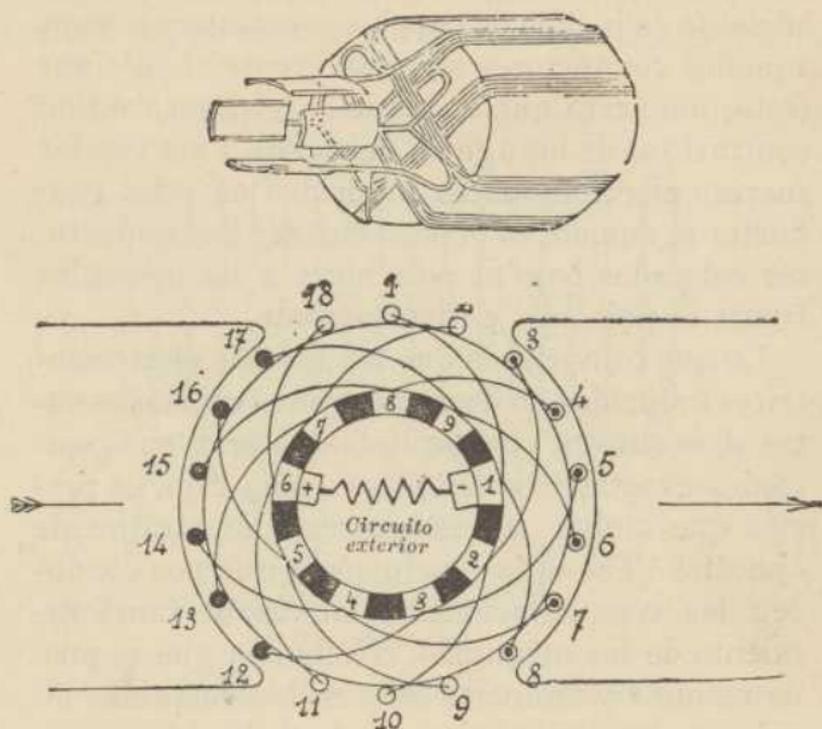


Fig. 41. — Inducido en tambor de la dinamo bipolar.

por el desplazamiento de aquellos conductores en el campo magnético inductor ?

Consideremos y estudiemos en primer lugar el caso de las máquinas bipolares. En un momento dado, todos los conductores que pasan bajo el polo norte están recorridos por una corriente del mismo sentido ; lo mismo ocurre con los conductores situados frente al polo sur, aunque el

sentido de la corriente en ellos es inverso al anterior. Para fijar las ideas (fig. 41), admitamos que el sentido de la corriente en los conductores situados debajo del polo norte sea de atrás hacia adelante de la hoja de papel, e inversamente para aquellos conductores situados frente al polo sur (esto, supuesto que el inducido gira en sentido contrario al de las agujas del reloj). Para que las fuerzas electromotrices inducidas en cada conductor se sumen, es preciso enlazar los conductores colocados bajo el polo norte a los colocados frente el polo sur, e inversamente.

Lo que conviene es que las fuerzas electromotrices inducidas en dos conductores enlazados entre sí se sumen, cualesquiera que sean sus posiciones exactas bajo los polos : para esto, es preciso que ambos se encuentren diametralmente opuestos. Tal es la conclusión a que nos conducen las consideraciones relativas al funcionamiento de las máquinas, conclusión que se puede resumir y enunciar así : en las máquinas bipolares, los conductores diametralmente opuestos han de estar conectados los unos a los otros, de modo que se forme un devanado completamente cerrado.

En lo que a la construcción de un devanado se refiere, es necesario precisar la cuestión, y para hacer toda explicación más fácil y clara procederemos del modo que hemos aconsejado al lector proceda siempre que se trata de estudiar y explicar el devanado del inducido de una máquina ; enumeraremos los conductores en el orden

en que se nos presentan sobre la periferia del inducido : por otra parte, para simplificar la representación del devanado nos imaginaremos el cilindro que constituye el núcleo inducido, cortado según una paralela a su eje desarrollado

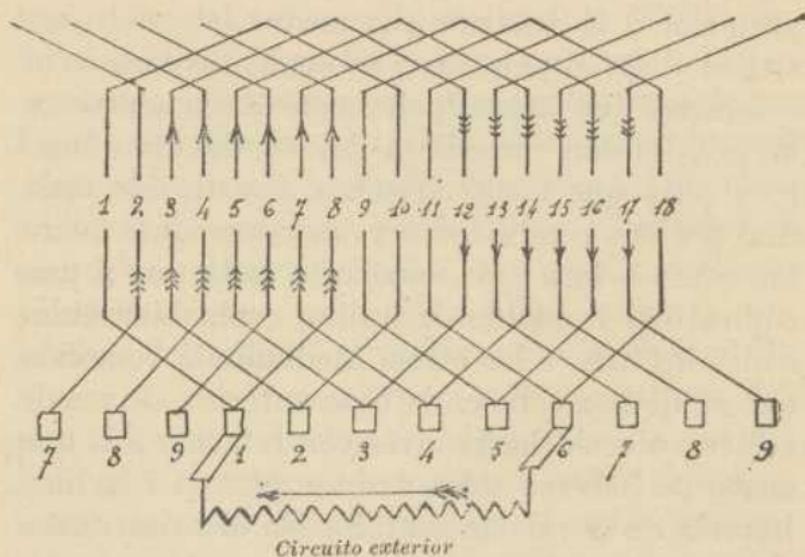


Fig. 42. — Desdoblamiento panorámico del inducido en tambor.

sobre un plano, como si se tratase de una hoja de papel arrollada en un principio sobre un tambor y que se desenrollase a continuación.

Se podrá observar entonces el dentado del inducido, y representaremos aquí, mediante trazos o rectas, los conductores colocados entre los dientes. Este desarrollo lleva el nombre de desarrollo panorámico del inducido (fig. 42).

Si se sigue el devanado partiendo del conductor número 1, situado bajo el polo norte, en el

instante considerado, se pasa al conductor diametralmente opuesto por una conexión colocada sobre la cara o parte *posterior*, por ejemplo, conviniendo en llamar cara *anterior* la base del tambor que mira al lado del colector y cara *posterior* a la otra base. Se pasa a continuación de la base posterior a la anterior por medio del conductor situado bajo el polo sur ; es preciso enlazarlo al conductor que bajo el polo norte se encuentra en la proximidad inmediata del conductor número 1 para que estos circuitos, constituido cada uno por dos conductores y las conexiones sobre las caras o bases, y semejante cada una a una espiral del inducido de anillo, estén bien enlazados los unos a los otros. Mediante la conexión que se lleva a cabo en la base anterior, se puede o bien volverla hacia atrás con relación a la que acaba de hacerse sobre la base posterior, o bien hacerla en el mismo sentido. En el primer caso el devanado se llama *imbricado* o *sobrepuesto*, y en el segundo caso *ondulado*. En las máquinas bipolares se emplea por lo general el primero, según se representa en la figura.

Aún conviene hacer otra aclaración : siguiendo el devanado en un sentido determinado, después de haber recorrido todos los conductores de la periferia del inducido, se volverá de nuevo al punto de partida. Esto ocurre cuando el devanado es cerrado. En el presente caso hemos comenzado por el conductor número 1 pasando de la base delantera o anterior a la posterior ; pues bien, por el conductor diametralmente opuesto

pasaremos de la base posterior a la anterior y continuando daremos la vuelta al inducido hasta llegar al conductor número 1.

Distinguiremos, pues, los conductores de la superficie del tambor en conductores de *ida* y en conductores de *vuelta* o *retorno*; los primeros serán, por convención puramente arbitraria, los que recorremos de la cara anterior hacia la posterior, e inversamente, los conductores de retorno. Ahora, si se considera el conjunto de conductores, se ve que ha de contener tantos conductores de ida como conductores de retorno, y que deben estar repartidos, tan simétricamente y regularmente como sea posible, sobre la superficie del inducido: esta condición es fácil de reunir haciendo pasar por cada escotadura del inducido un inductor de ida y otro de vuelta. Automáticamente se encuentra que si los conductores están enumerados en el orden que están dispuestos, y no enlazados, sobre la periferia del inducido, los conductores que llevan números impares son, por ejemplo, los conductores de ida y los conductores pares, los conductores de retorno.

Entre dos láminas consecutivas del colector hay, pues, siempre al menos un conductor de ida y otro de retorno. En general hay muchos de cada género y en números iguales.

Se llama *sección* o *carrete* el conjunto de conductores comprendidos entre dos láminas consecutivas; y cada sección consta de dos *haces inducidos*; estando constituido un *haz inducido*.



por los conductores del mismo nombre (de ida o retorno), comprendidos en dos láminas del colector.

Así, pues, cuando se fija el número total de conductores se determina el número de carretes, que es el mismo que el de láminas del colector, y se deduce el número de conductores que corresponde a cada carrete y, por consiguiente, a cada haz inducido. Estos carretes se preparan de antemano sobre patrones de madera ; empleándose este método, siempre que las dimensiones del conductor lo hacen difícilmente manejable, y de difícil devanado. Los carretes, así preparados por separado, móntanse sobre el tambor, y como se ha tenido cuidado de dejar libres los dos extremos de cada uno de ellos, se conectan unos con otros según las reglas dadas para el devanado.

Un devanado está siempre definido por su género, *imbricado* u *ondulado*, y por su *paso*. El *paso de un devanado* es la distancia que separa dos conductores enlazados entre sí o, más propiamente, la distancia entre dos haces inducidos. Esta distancia se cuenta de la manera siguiente : se enumeran los haces inducidos en el orden según el cual se les encuentra siguiendo la periferia del inducido.

El paso es el número que hay que añadir al número del haz inducido considerado para obtener el número del haz con el que debe conectarse.

Se observa desde luego que el paso ha de ser

siempre un número impar, puesto que un haz de orden par ha de ser conectado a un haz de orden impar, e inversamente. Además, en el devanado imbricado el paso sobre la cara posterior es diferente del de la cara anterior del tambor ; si no fuese así, los carretes no estarían conectados entre sí en su totalidad, sino que cada uno se cerraría sobre sí mismo.

En el devanado ondulado el paso anterior y posterior pueden ser iguales.

En fin, en lo que al montaje de los carretes o secciones sobre el tambor del inducido se refiere, es preciso parar la atención en que los enlaces sobre las caras anterior y posterior estén dispuestos con orden y regularidad para que se puedan distinguir fácilmente los unos de los otros ; se procurará, cuando se preparan los carretes sobre los patrones de madera, dejar la porción de conductor necesaria para hacer estos enlaces. Los enlaces de dos haces sobre la cara anterior del lado del colector se hacen por intermedio de la lámina del colector que les corresponde. Suéldase el final del conductor de salida de un carrete con el principio del devanado del siguiente sobre la lámina del colector, provista para este fin de un apéndice o barrita conductora.

En las máquinas multipolares las disposiciones generales son las mismas que en las máquinas bipolares. Es preciso distinguir, sin embargo, entre los dos sistemas de devanados indicados arriba, el devanado imbricado y el ondulado ; mientras que en las máquinas bipolares

se puede adoptar indistintamente una u otra clase de devanado, esto no es indiferente en las máquinas multipolares.

Es preciso advertir que a estos dos sistemas

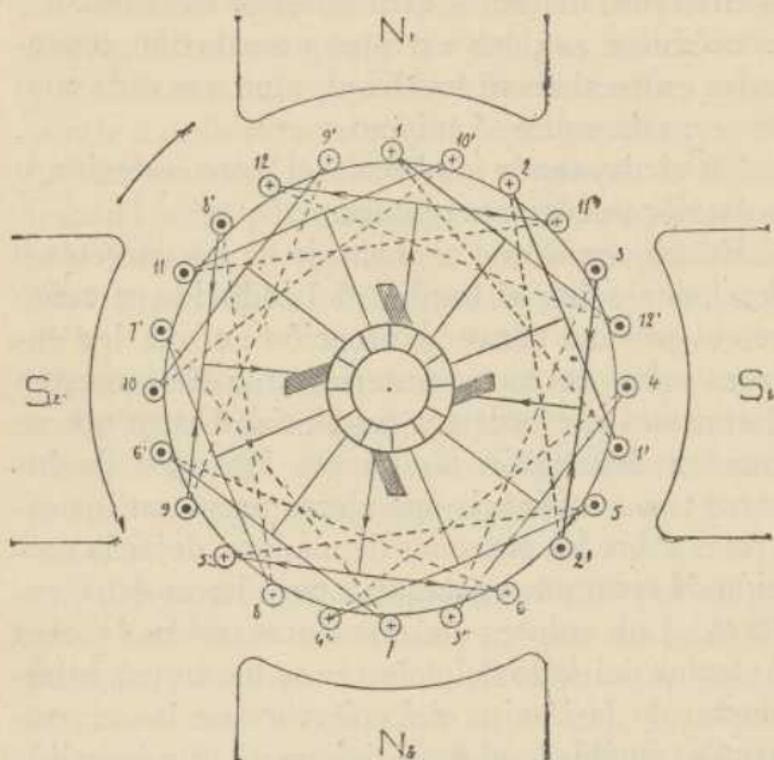


Fig. 43. — Devanado imbricado de una máquina tetrapolar.

de devanados simples se añaden combinaciones de los mismos, lo que conduce a los devanados múltiples; únicamente dejaremos aquí indicada esta circunstancia.

Volvamos a hacer la distinción entre los dos modos de devanados simples, y consideremos, para fijar las ideas, una máquina de cuatro po-

los y designemos por N_1 y N_2 (figs. 43 y 44) los dos polos norte, y S_1 y S_2 los dos polos sur : los polos se sucederán, pues, en el orden N_1, S_1, N_2, S_2 . Los conductores situados bajo N_1

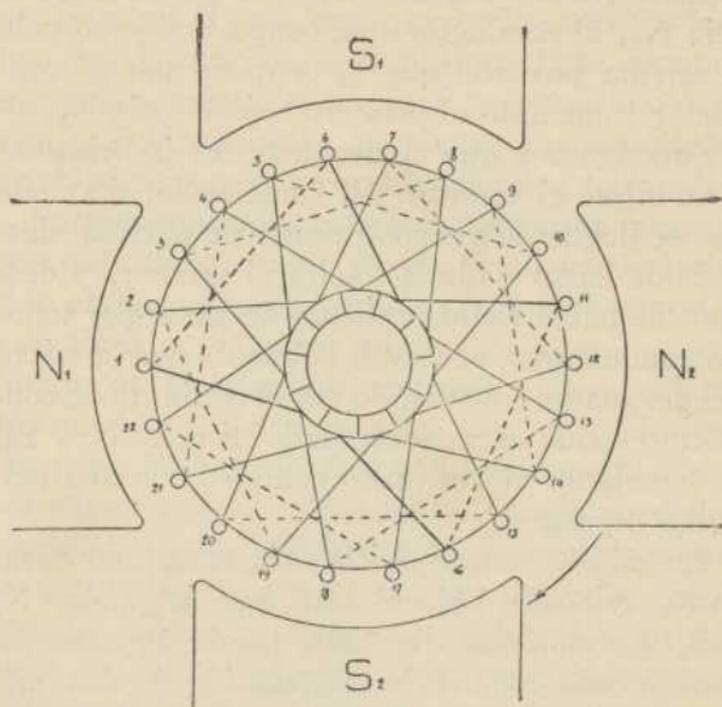


Fig. 44. — Devanado ondulado de una máquina tetrapolar.

están enlazados con los situados bajo S_1 , en una posición sensiblemente la misma con relación al polo S_1 que la que ocupan los conductores correspondientes bajo el polo N_1 con relación a este polo.

Partiendo de un conductor bajo N_1 , se pasa al conductor correspondiente al polo S_1 ; y, salien-

do de este conductor, la cuestión que se presenta es saber si el devanado es imbricado u ondulado. En el primer caso se debe llegar de nuevo bajo el polo N_1 , al conductor inmediato al primero; en el segundo caso se pasará bajo el polo N_2 , al conductor que ocupa bajo este polo la misma posición que la ocupada por el conductor inmediato al primero bajo el polo N_1 .

Supongamos que el devanado es imbricado: si se sigue el circuito así comenzado, de modo que se llegue de nuevo al punto de partida, después de haber dado la vuelta al tambor, y después de haber tenido cuidado de pasar por todos los conductores, se cae en la cuenta que la mitad del devanado, constituido por el conjunto de conductores, que se encuentra bajo los polos N_1 y S_1 , es semejante al devanado completo de una máquina bipolar.

Lo mismo ocurre con la otra mitad del devanado, colocado bajo el otro par de polos, N_2 y S_2 . La máquina tetrapolar puede ser entonces considerada como la yuxtaposición de dos máquinas bipolares: se tendrá, por consiguiente, cuidado de proveer la máquina de tantas escobillas, cuanto es el número de polos, colocando cada línea de escobillas entre dos polos consecutivos; en efecto, hay tantas líneas neutras como pares de polos, y los conductores comprendidos entre dos líneas neutras consecutivas están recorridos por una corriente del mismo sentido: durante un giro completo, el sentido de la corriente en el mismo conductor cambia cuatro

veces. Resulta, pues, que las dos escobillas opuestas corresponden : ora al punto de salida de la corriente, ora al punto de entrada, y basta enlazar a un borne común las líneas de escobillas por las que entra la corriente, y al otro borne, las otras líneas, constituyendo estos dos bornes los bornes de la máquina. Este montaje equivale a montar o conectar en paralelo o derivación dos máquinas bipolares que estuviesen yuxtapuestas para formar la máquina tetrapolar.

Para comprender este montaje basta recordar que cada línea neutra divide el devanado inducido en dos mitades, que son cada una, respecto a la línea o diámetro neutro considerado, una fuente de electricidad, estando ambas enlazadas en derivación o paralelo (fig. 43). Si tiene dos polos, habrá tan solo una línea neutra y dos fuentes eléctricas enlazadas en paralelo ; si tienen cuatro polos, habrá dos líneas neutras y cuatro generadores, conectadas en paralelo, dos a dos. El mismo raciocinio se aplicará a un número cualquiera de polos, bien entendido que el número de estos es siempre par. Nos podemos dar perfecta cuenta de la posibilidad de generalizar lo que acabamos de decir sobre las máquinas tetrapolares y sacar la conclusión de que con el devanado imbricado hay tantas líneas de escobillas como polos inductores. Cada par de polos corresponden a una máquina bipolar, y la máquina multipolar estará formada por la yuxtaposición de tantas máquinas bipolares, cuantos pares de polos hay en la misma, estando todas

ellas enlazadas en paralelo. Para recordar esta propiedad del devanado imbricado, se le designa frecuentemente con el nombre de devanado *en paralelo*. La regla para montar este devanado es la misma que se sigue para montar el de una máquina bipolar: esta regla viene dada por la definición que dimos del paso del devanado, es decir, por dos cifras, la una relativa al paso de la cara anterior y la otra al de la cara posterior, siendo contado este paso, como ya hemos dicho más arriba, en el caso de la máquina bipolar.

Estudiemos, entre tanto, el devanado ondulado sobre una máquina tetrapolar y consideremos un conductor situado bajo el polo S_1 enlazado al conductor bajo el polo N_1 , del cual hemos partido en el caso precedente.

A la salida de este conductor, en lugar de volver de nuevo bajo el polo N_1 , se escogerá el conductor bajo el polo N_2 , que ocupa bajo este polo y con relación al mismo una posición idéntica a la que ocupa bajo el polo N_1 , y con relación a este polo el conductor vecino al primer conductor del cual hemos partido; pasando en seguida bajo el polo S_2 , nuevamente bajo el N_1 y así sucesivamente, se forma el devanado ondulado.

Se observa que en este devanado los conductores que están colocados bajo el polo N_2 desempeñan el mismo papel, con respecto a aquellos que se hallan situados bajo el polo N_1 , que si ellos estuviesen situados bajo el polo N_1 , inter-

calados entre aquellos que allí se hallan ; lo mismo ocurre con los conductores situados bajo el polo S_2 con relación a los del polo S_1 (fig. 44). Así se forma una máquina bipolar, en la cual se habrán dividido los polos inductores para distribuirlos por la superficie del tambor, como en los devanados de inducido.

Si se siguiese un devanado ondulado, se observaría que pasa alternativamente bajo los polos N_1 , S_1 , N_2 y, por último, N_1 , y esto muchas veces antes de volver al punto de partida, es decir, antes de haber recorrido todo el devanado.

En este devanado, como en el de las máquinas bipolares, bastarán dos líneas de escobillas ; pero en lugar de estar diametralmente opuestas, están colocadas entre dos polos consecutivos, lo cual se explica considerando los otros polos de la máquina como pertenecientes o formando parte de uno u otro de los dos polos a los cuales corresponden las líneas de escobillas.

Los pasos del devanado ondulado pueden ser los mismos para la cara anterior que para la posterior ; en este caso se dice que el devanado es de igual paso. Si los pasos son desiguales, y ellos tan sólo difieren en número de dos, este número representa la diferencia del número de haces inducidos que existe entre la cara anterior y posterior, entre dos haces inducidos enlazados entre sí.

El razonamiento hecho sobre una máquina tetrapolar se puede aplicar también a las máquinas de un número cualquiera de polos, para res-

tablecer la regla del devanado ondulado ; es preciso que, partiendo de un haz inducido bajo el polo N, se pase sucesivamente bajo todos los polos inductores, y que se haga o dé así una vuelta del inducido antes de volver bajo un nuevo haz inducido bajo el polo N, del cual se parte. Cualquiera que sea el número de polos, tan sólo hay dos líneas de escobillas dispuestas de la misma manera que en las máquinas tetrapolares, es decir, entre dos polos consecutivos.

En fin, se pueden imaginar combinaciones de devanado ondulado y de devanado imbricado : imaginemos en particular un cierto número de devanados ondulados, dispuestos de una manera regular y simétrica sobre un tambor y desde luego independientes los unos de los otros ; pero para que la máquina funcione en condiciones normales es imposible dejar dichos devanados independientes y se los enlaza entre sí mediante escobillas en paralelo o derivación, de donde se deduce el nombre que se le da a esta clase de devanado : devanado en paralelo.

En lo que a la elección de devanado para una máquina dada se refiere, es preciso conocer las circunstancias en las cuales funciona, y recordar al mismo tiempo las propiedades de los generadores eléctricos enlazados en paralelo o en serie. Cuando dos generadores eléctricos están enlazados en paralelo, la diferencia de potencial entre los dos bornes extremos es igual a la que existe entre los de uno de los generadores ; por el contrario, la intensidad de la corriente total es igual

a la suma de las intensidades de la corriente producida por cada uno de ellos. Si, por el contrario, los dos generadores están en serie, la diferencia de potencial entre los dos bornes extremos es igual a la suma de las diferencias de potencial de los dos generadores, y la corriente que recorre el circuito tiene la misma intensidad que la producida por cada uno de los generadores.

Ahora bien, en un generador de corriente continua, cada línea neutra (de las cuales hay tantas cuanto es el número de pares de polos) divide el devanado en dos mitades: si hay dos polos, el devanado inducido comprende, pues, dos partes; si hay cuatro polos, comprende cuatro partes; para seis polos hay seis partes, etc. Cada porción de devanado comprendida entre dos puntos consecutivos de dos líneas neutras es asimilable a un generador de electricidad, puesto que es asiento de una fuerza electromotriz igual a la suma de las fuerzas electromotrices inducidas en cada conductor de esta parte del devanado. Ahora bien, en una máquina bipolar las dos mitades del devanado están montadas en paralelo, puesto que el sentido de la fuerza electromotriz entre las dos líneas de escobillas es diferente en las dos mitades del devanado. La corriente en las escobillas tiene una intensidad igual al doble de la de la corriente en cada mitad del devanado; este montaje es el único posible en una máquina bipolar.

Pero en las máquinas multipolares se pueden montar todas las partes del devanado compren-

didadas entre dos puntos consecutivos de dos líneas neutras, sea en paralelo, sea en serie. El primer sistema de acoplamiento se lleva a cabo en el devanado imbricado, y el segundo, en el devanado ondulado ; aconsejamos al lector comprobar exactamente sobre los esquemas los devanados que se examinan.

En el primer caso la fuerza electromotriz de la máquina será la de una de las partes del devanado, y la intensidad por ella producida es igual a la suma de las intensidades de la corriente producida por cada parte del devanado.

En el segundo caso la fuerza electromotriz de la máquina es igual a la mitad de la suma de las fuerzas electromotrices de todas las partes del devanado ; conviene hacer aquí una advertencia : por lo mismo que las dos mitades del devanado de una máquina bipolar no pueden ser acopladas en serie, de la misma manera, en una máquina multipolar tan sólo se pueden tomar la mitad de los conductores para enlazarlos en serie ; la otra mitad, estando igualmente dispuesta en serie, se acoplará en derivación o paralelo con la primera mitad.

En resumen : si la diferencia de potencial entre los bornes es débil y la intensidad de la corriente es elevada, se adoptará el devanado en paralelo o imbricado, y, si por el contrario, la diferencia de potencial de la máquina es grande y la intensidad de la corriente reducida, es recomendable emplear el devanado ondulado o en serie.

En igualdad de las demás condiciones, flujo inductor igual e idéntica velocidad, la potencia de una máquina es constante, cualquiera que sea el devanado que se adopte. Sea, en efecto, e la fuerza electromotriz inducida en cada parte del devanado, e i la intensidad de la corriente que la recorre; sea $2a$ el número de partes de que consta el devanado, a cada una de las cuales se le da el nombre de *superficies del devanado*; la potencia de la máquina será

$$P = EI,$$

en que E representa la fuerza electromotriz e I la intensidad de la corriente.

En el devanado en paralelo :

$$E = e \quad \text{e} \quad I = 2ai.$$

Así pues : $P = 2aei$;

En el devanado en serie :

$$E = ae \quad \text{e} \quad I = 2i,$$

de donde $P = 2aei$,

en donde se ve que P tiene el mismo valor para el devanado imbricado que para el devanado ondulado.

Esta advertencia tiene su importancia cuando se trate de transformar una máquina multipolar, de devanado imbricado, por ejemplo, para aumentar la diferencia de potencial entre los bornes. En este caso es preciso transformar el de-

vanado en ondulado, manteniendo las otras constantes de la máquina.

El devanado mixto (en serie-paralelo) que resulta de los dos precedentes es interesante en las máquinas de potencia elevada. Los dos factores E e I se aumentan, adoptando el devanado en serie, con lo que se consigue aumentar la tensión o diferencia de potencial, y para aumentar la intensidad de la corriente, enlazando en paralelo varios devanados dispuestos en serie.

El colector y las escobillas. — El colector, que constituye el órgano más delicado de la máquina de corriente continua, está formado por láminas de cobre imantadas sobre un manguito; el espesor de estas láminas aumenta desde el centro a la periferia, condición indispensable para que tenga la forma cilíndrica (fig. 45). Las láminas, cortadas según representa la figura 45, están provistas, en la extremidad dirigida hacia el inducido, de un reborde al que se sueldan las conexiones del devanado del inducido, habiendo tantas láminas cuantas secciones constituyen el inducido. Estas láminas deben estar aisladas entre sí y del manguito; el problema del aislamiento de las láminas del colector es lo que hace delicada y difícil la construcción de generadores de corriente continua. Se coloca, en efecto, entre las láminas y el eje o manguito un aislante apropiado, tal como el papel o la micanita. El aislante indispensable entre las láminas del colector es la mica o la micanita, y a veces el

amianto. Importa sobremanera asegurar el mayor aislamiento posible con el menor espesor posible de aislante.

En esto consiste la dificultad de la construc-

Elevación y sección s = AOB

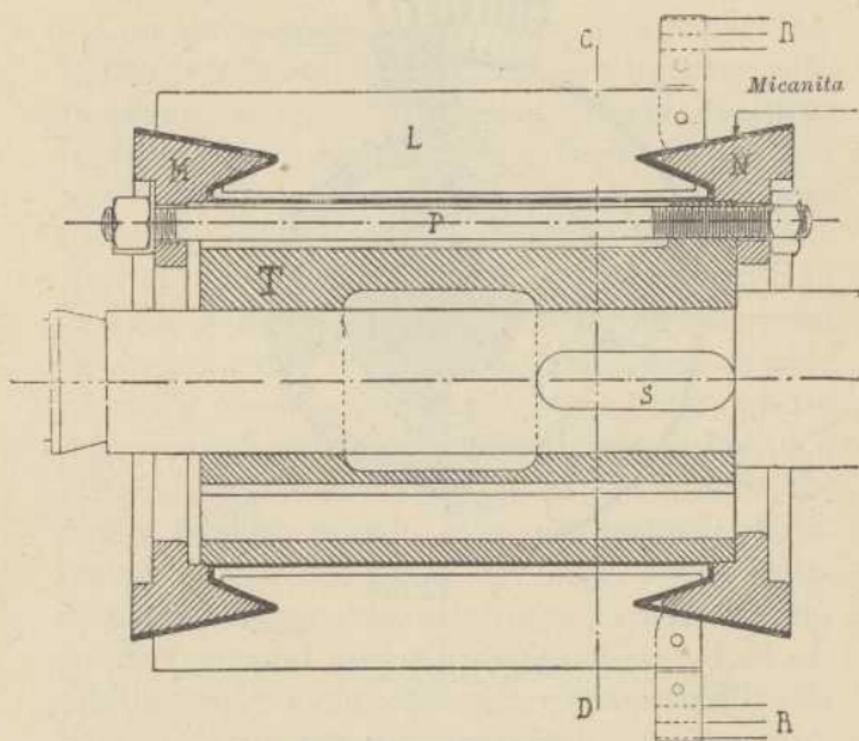


Fig. 45. — Colector.

ción del colector ; a ella son debidos un gran número de defectos de funcionamiento de las máquinas de corriente continua, y encarecemos vivamente al electricista encargado de comprobar un generador de corriente de esta clase que observe atentamente el aislamiento de las láminas

de cobre del colector. En lo que a las escobillas se refiere se emplean escobillas de carbón espe-

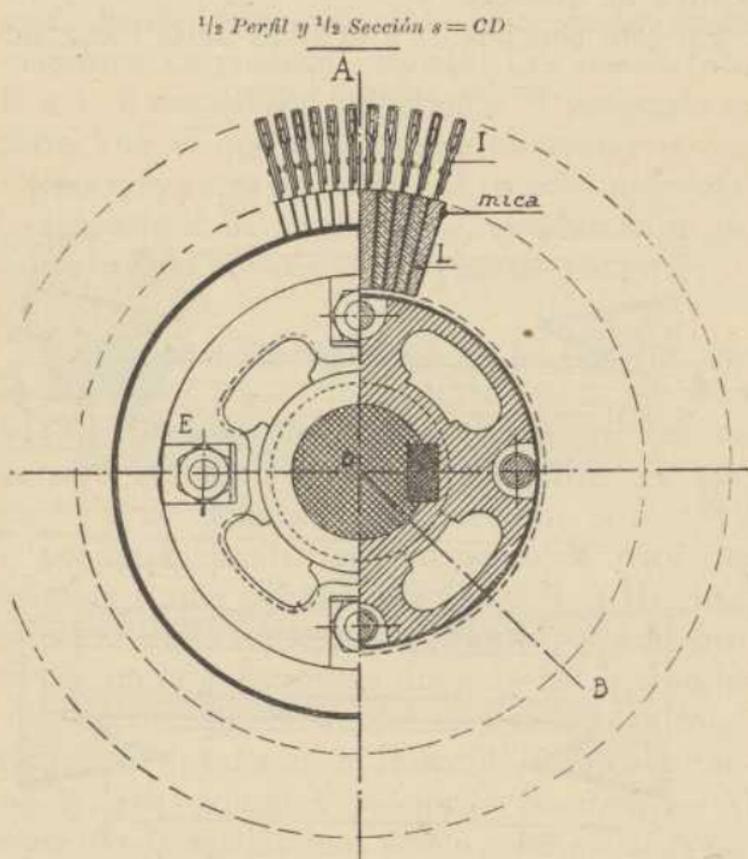


Fig. 46. — Colector.

cial. Al principio de la construcción de las máquinas eléctricas se adoptaron las escobillas constituidas por arpillera de hilo o láminas metálicas muy delgadas; estas escobillas tenían la ventaja de oponer una débil resistencia a la corriente eléctrica; pero, por el contrario, ellas

desgastaban rápidamente el colector, el cual después de algún tiempo de funcionar la máquina no tenía su superficie ni regular ni lisa, obligando entonces a tornearlo de nuevo, con lo que se reducía su diámetro notablemente, y, por consiguiente, el colector no funcionaba más en las condiciones calculadas y previstas.

Con las escobillas de carbón, se aumenta notablemente la resistencia, pero se desgastan más rápidamente que el colector. Basta entonces reemplazarlas, operación más fácil, menos costosa y menos perjudicial al buen funcionamiento de la máquina que el torneado del colector. Así, las escobillas de cobre tan sólo se emplean cuando la diferencia de potencial que se trata de obtener entre los bornes de la máquina es muy pequeña, unos 8 a 10 voltios, como ocurre en las máquinas destinadas a la galvanoplastia. En estas máquinas la intensidad de la corriente obtenida es muy grande, y la más pequeña resistencia del circuito puede dar lugar a una caída de tensión apreciable, con respecto a la diferencia de potencial que se quiere utilizar. Las escobillas están montadas sobre portaescobillas de latón, y se apoyan sobre el colector con una presión conveniente que se regula mediante un resorte o muelle de que está provisto cada portaescobilla y que descansa sobre la escobilla.

Cada línea de escobillas contiene un cierto número de escobillas; la longitud de una línea es igual a la de una lámina del colector. A cada escobilla corresponde un portaescobillas y todos

los portaescobillas de una misma línea están montados sobre una misma barra de latón. Esta última está fijada sobre un anillo movable alrededor del cojinete de la dínamo, en las máquinas de pequeña potencia, y alrededor de un carril empernado al bastidor de la máquina en las de gran potencia. Cada barra corresponde a un borne de la máquina a la cual está enlazada por un conductor de dimensiones convenientes.

CAPÍTULO V

FUNCIONAMIENTO DE LAS DINAMOS

Producción de chispas en las escobillas y calado de las mismas. — Ya hemos visto cómo se puede recoger la corriente inducida en los conductores del devanado inducido, girando a una velocidad convenientemente regulada en un campo magnético inductor. Gracias al colector sobre el cual reposan en dos puntos diametralmente opuestos un cierto número de escobillas, se obtiene una corriente que presenta las mismas propiedades que la corriente que producen las pilas eléctricas. Recordemos que si la máquina es multipolar puede tener más de dos líneas de escobillas; el devanado del inducido es entonces imbricado; las líneas de escobillas son en número par, equidistantes sobre la periferia del colector y necesariamente diametralmente opuestas dos a dos. La máquina puede tener tan sólo dos líneas de escobillas, como ocurre en el caso de emplear el devanado ondulado: estas líneas no son entonces diametralmente opuestas, como en las máquinas bipolares, sino que están distantes entre sí $1/4$, $1/6$ o $1/8$, etc., de circunferencia, se-

gún que la máquina tenga cuatro, seis, ocho, etc., polos. Pero lo que dedujimos del estudio del funcionamiento de la máquina bipolar se aplica a todas las máquinas multipolares que, según hemos hecho observar, pueden considerarse como resultante de la juxtaposición de varias máquinas bipolares.

Teóricamente las dos líneas de escobillas deben estar sobre la línea neutra, en el punto en donde la corriente inducida cambia de sentido en el conductor. Colocando este punto sobre la línea neutra, no nos podemos dar cuenta de la influencia que ejerce la corriente del inducido sobre el campo magnético inductor. Recordemos que toda corriente eléctrica crea en su proximidad un campo magnético; como el inducido es recorrido por una corriente eléctrica, ésta crea un campo magnético, lo que hace que en realidad en el espacio en el cual se mueve el inducido exista el campo magnético inductor, por una parte, y el campo magnético del inducido; así, pues, el campo que se puede observar es, por otra parte, el conjunto de estos dos campos al cual se llama campo resultante. Este campo no tiene la misma dirección que el campo magnético inductor propiamente dicho, sino una dirección oblicua con respecto a las líneas de los polos. Se puede interpretar este fenómeno diciendo que el campo magnético del inducido tiene por objeto el de desplazar los polos magnéticos norte y sur del inductor, en el sentido de la rotación del inducido (fig. 47). Así, pues, la verdadera línea de

polos está inclinada con respecto a la línea de polos teórica. Por consiguiente, se ha de tener cuidado en colocar las escobillas, no sobre la línea de polos teórica, sino sobre la verdadera línea

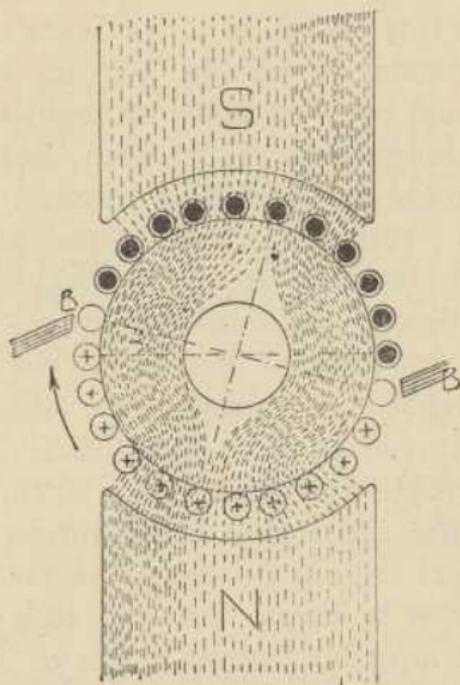


Fig. 47. — Influencia del campo magnético del inducido y calado de las escobillas.

neutra : en otras palabras, se avanzan las escobillas en el sentido en que gira el inducido, con respecto a la posición teórica que deberían ocupar, operación ésta que se llama *calar* las escobillas. El calado de éstas es igual al ángulo que forman las líneas de polos teórica y la verdadera.

Hemos de advertir que la influencia del campo

magnético del inducido es tanto más considerable cuanto mayor es la intensidad de la corriente que circula por el inducido. El calado de las escobillas debe, pues, variar con la intensidad de la corriente del inducido. No se lleva a cabo el calado, si la intensidad de la corriente es nula, y aquél aumenta a medida que su intensidad aumenta, así como también su influencia sobre el campo magnético. Ahora bien, la intensidad de la corriente depende de la potencia absorbida por la red ; aumenta a medida que ésta aumenta, lo cual quiere decir que la carga de una máquina puede ser medida por la intensidad de la corriente. La máquina marcha en vacío, es decir, sin carga, si la intensidad de la corriente es nula, y funciona a plena carga si la intensidad de la corriente alcanza el valor normal para el cual ha sido construída la máquina. Se puede decir que el ángulo de calado de las escobillas aumenta con la carga. Para evitarse regular el calado de aquéllas según la carga, carga que frecuentemente varía entre grandes límites en poco tiempo, puesto que ella depende de las necesidades de la red, se pone un cierto interés en que el ángulo de calado sea pequeño para las mayores cargas de la máquina : redúcense así las variaciones del ángulo de calado para las cargas medias y puede asimismo dejarse funcionar la máquina a no importa qué carga, sin tener que modificar la posición de las escobillas.

Frecuentemente se proveen las máquinas de dispositivos especiales que permiten reducir el

calado, tales como los llamados *polos auxiliares*, que producen el efecto de rectificar o corregir la dirección del campo magnético inductor : estos polos, intercalados entre los polos principales, crean un campo magnético que se opone al

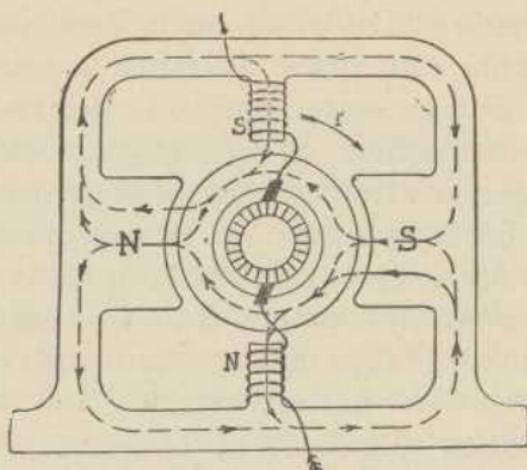
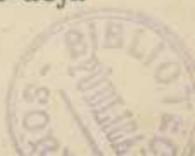


Fig. 48. — Inductor de polos de conmutación.

del inducido y destruyen así su efecto sobre el campo magnético inductor (fig. 48).

Se llega a conocer la posición conveniente de las escobillas por la ausencia de las chispas que toman fácilmente su origen entre el colector y las escobillas. ¿De dónde provienen estas chispas? Al girar, el colector pasa sucesivamente todas sus láminas por delante de las escobillas ; en general estas últimas recubren más de una lámina ; pero esto no tiene importancia en el fenómeno que estudiamos. La posición delicada corresponde al instante en que una lámina deja



de estar en contacto con las escobillas ; durante un breve instante éstas últimas están en contacto con la lámina que se aleja y con la inmediata siguiente ; ahora bien, según las reglas del devanado, la primera lámina está conectada al extremo de una sección del devanado, y el otro extremo está enlazado con la lámina siguiente ; durante este breve instante la sección en cuestión está en cortocircuito, es decir, cerrada sobre las escobillas. Si la intensidad de la corriente que la atraviesa entonces es grande, se produce en el momento de la ruptura del circuito, es decir, en el instante en que la escobilla deja de estar en contacto con una lámina, una fuerte chispa, tanto mayor cuanto más elevada es la intensidad de la corriente. Así, pues, si las escobillas se colocan en el punto en el que la corriente cambia de sentido, la intensidad de la misma en la sección del devanado que está en cortocircuito será nula, y no se producirá chispa alguna.

Tal es el principio en que puede basarse la elección del punto o posición más conveniente de las escobillas ; esta posición será aquella en que dejen de producirse chispas en las escobillas.

Vemos, al estudiar los defectos del funcionamiento de las máquinas, que incluso ocupando las escobillas la posición conveniente, se pueden aún formar chispas ; pero éstas serán de menos importancia cuando las escobillas ocupen la posición conveniente, que en cualquiera otra posición.

El mismo razonamiento se aplicará a las máquinas multipolares para llegar a las mismas conclusiones : esto supone una simetría perfecta en la repartición de los conductores sobre la periferia.

En el caso contrario, es imposible evitar la formación de chispas en todas las escobillas de la máquina.

Excitación de las máquinas.—Hasta ahora habíamos presupuesto siempre la existencia de un campo magnético inductor fijo y constante, en el que se mueve el inducido, sin estudiar el origen de este campo : únicamente nos hemos dado por satisfechos con proveer la máquina de órganos inductores constituídos por núcleos inductores y piezas polares. Alrededor de los núcleos inductores están arrollados los carretes, a los que se les llama carretes inducidos, y que están recorridos por una corriente inductriz o de *excitación*. Esta es la corriente que engendra el campo magnético inductor cuya intensidad se puede aumentar hasta un límite muy grande, con la presencia de cuerpos magnéticos en el campo, tales como hierro o acero y que constituyen los órganos inductores de la máquina.

¿De dónde procede esta corriente? Puede provenir de un generador cualquiera independiente de la máquina : se dice entonces que la generatriz es de *excitación independiente*. Pero no parece práctico tener que disponer de otro generador eléctrico distinto de la máquina, cuya

finalidad es precisamente crear electricidad. Por consiguiente se ha buscado la manera de servirse de la propia máquina para que se excite a sí misma, dispositivo éste que se llama de *auto-excitación*.

La solución del problema es generalmente posible gracias a la existencia del fenómeno que hemos llamado más arriba magnetismo remanente. Ya hemos visto, en efecto, que los aceros imanados, bajo la acción de la corriente eléctrica, por ejemplo, no se desimanan completamente, al cesar la causa de su imanación : ellos conservan, con débil intensidad, la propiedad de cuerpos imanados, propiedad atribuída a lo que comúnmente se llama magnetismo remanente. Entre los dos polos inductores de una dínamo existe, pues, un campo magnético muy débil, pero no nulo, aun en ausencia de toda corriente excitatriz en los carretes inductrices, a condición, sin embargo, que los polos inductores tengan la propiedad de conservar el magnetismo. Así, pues, cuando se pone en movimiento el inducido, éste se mueve ya en un campo magnético muy débil, según hemos dicho, pero que es suficiente para producir por inducción una fuerza electromotriz en los conductores. Esta fuerza electromotriz da lugar a su vez a una corriente en los carretes inductrices, convenientemente conectados al inducido ; la corriente de excitación, de nula que era, aumenta, puesto que a medida que ella aumenta, también lo hace la intensidad del campo magnético, y el valor de la

fuerza electromotriz se eleva al mismo tiempo. Hemos de advertir que este aumento no es indefinido: para poner esto en evidencia basta recordar que el campo magnético creado por la corriente tiene una gran intensidad aumentada en una gran proporción por el hecho de la presencia de cuerpos magnéticos en este campo. Ahora bien, según ya hemos dejado indicado, llega un momento en el que la imanación del cuerpo no aumenta más, cuando se aumenta la intensidad del campo magnético inductor o la de la corriente que crea este campo, que es lo mismo. Se dice entonces que el cuerpo está saturado, y el valor del campo magnético a partir del cual la imanación del cuerpo no aumenta más corresponde al punto de saturación. En la dínamo habrá, pues, un valor de la corriente de excitación sobre el que el flujo de fuerza que emana de los polos inductores no aumentará más, aun cuando la corriente de excitación aumentase. Como la fuerza electromotriz inducida depende de este flujo, ella no aumentará más y permanecerá constante, lo mismo que la corriente excitatriz, que varía con la fuerza electromotriz inducida.

¿Cómo están conectados los carretes inductrices al devanado inducido? Están evidentemente conectados a los bornes de la máquina y deben ser considerados como un circuito ordinario al que la dínamo, o más bien, el inducido de la dínamo, asegura la alimentación. Pueden estar montados en serie con el inducido y los otros

aparatos de la red ; o bien en derivación sobre el inducido. Según el modo como esté montado el devanado del inductor, la dínamo tiene propiedades distintas.

Distinguiremos, pues :

- 1.^a Dínamos de *excitación en serie* ;
- 2.^a Dínamos de *excitación en derivación o shunt* ;
- 3.^a Dínamos de *excitación compound*.

En éstas el devanado inductor contiene para cada polo dos carretes inductrices cuyo conjunto forma dos circuitos distintos : un circuito en derivación sobre el inducido y el otro en serie con el mismo. Sobre cada polo se tiene, pues, un carrete llamado sencillamente *shunt* y un carrete llamado *serie*.

Vamos a estudiar ahora en qué difieren las propiedades de las dínamos según la forma en que están excitadas. Y ante todo hemos de exponer aquí cuáles son las propiedades de las dínamos generatrices de corriente continua. Una dínamo se caracteriza por la diferencia de potencial o la tensión entre sus bornes a una velocidad de rotación determinada y para una intensidad de corriente dada.

La primera advertencia que hemos de hacer, y de importancia, es la que se refiere a su velocidad de rotación : ésta se supone constante e igual a aquella para la cual está la dínamo calculada : a esta velocidad se la llama velocidad de régimen, y uno de los más importantes cuidados del electricista encargado de la vigilancia de una

máquina generadora debe consistir en mantener constante la velocidad y regular la marcha de la máquina motriz. Asimismo hemos de hacer notar que este cuidado es también del constructor de la máquina motriz, si sabe que esa máquina está destinada a ser acoplada a una generadora de corriente, para lo cual la proveerá de un regulador automático de velocidad.

Una vez hecha esta advertencia, importa saber cómo varía la tensión entre los bornes de una generatriz al variar la intensidad de la corriente: ya

hemos llamado la atención del lector sobre la estrecha relación que existe entre la diferencia de potencial, la intensidad de la corriente y la carga de una dínamo, la cual depende de las necesidades de la red y que puede ser esencialmente variable.

Consideremos, desde luego, una generatriz de excitación independiente: en este caso, la corriente excitatriz depende únicamente del generador S del cual se dispone (fig. 48). Si u es la diferencia de potencial entre los bornes de este generador y r la resistencia del circuito de exci-

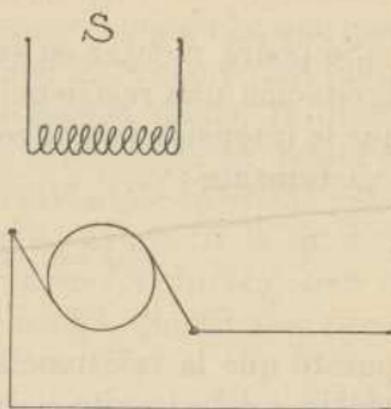


Fig. 49. — Esquema del inducido de una dínamo y su inductor alimentado por un generador S (excitación independiente).

tación (resistencia de los carretes inductrices), la intensidad de la corriente de excitación viene dada por la fórmula :

$$i = \frac{u}{r},$$

Se podrá montar en serie sobre el circuito de excitación una resistencia x regulable, de modo que la intensidad de la corriente de excitación es exactamente :

$$i = \frac{u}{r + x},$$

puesto que la resistencia x se añade a la resistencia r del circuito inductor. Se ve, pues, que es posible regular la intensidad de la corriente de excitación únicamente regulando la resistencia x .

Supongamos que la corriente de excitación ha sido regulada para obtener en los bornes de la máquina una diferencia de potencial de U voltios, y para fijar las ideas, admitamos que esta tensión sea, por ejemplo, 115 voltios.

Si se cierra entonces el circuito sobre el que ha de trabajar la máquina, se establece una corriente cuya intensidad depende de este circuito. Ahora bien, la corriente pasa por el devanado inducido y encuentra una cierta resistencia que da lugar a una caída de tensión, es decir, que a causa de la existencia de la corriente en el devanado inducido, la diferencia de potencial ya

no es U voltios, esto es, 115 voltios en nuestro ejemplo, sino más pequeña, por ejemplo, 110; es decir, que la caída de tensión es igual a 5 voltios. En efecto, la caída de tensión es debida no tan sólo a la resistencia del devanado inducido, sino a la influencia ejercida sobre el campo magnético inductor por el campo magnético que crea la corriente en el inducido. Este campo del inducido cambia, según ya hemos dicho, la dirección del campo magnético en el que se mueve el inducido, de aquí la necesidad de calar las escobillas, y al mismo tiempo disminuir la intensidad; la fuerza electromotriz inducida, que es proporcional a esta intensidad, disminuye, pues, de este modo.

Esta influencia del campo magnético del inducido sobre el campo magnético del inductor es lo que se llama *reacción del inducido*, la cual es tanto más grande, cuanto la intensidad de la corriente en el inducido es más elevada.

Resumiendo, hay dos causas de caída de tensión entre los bornes de la dínamo: la resistencia del inducido y la reacción del mismo; estas dos causas son de importancia tanto mayor, cuanto más elevada es la intensidad de la corriente.

Si se cambia, pues, la intensidad de la corriente de excitación, se observa, mediante un voltímetro, una disminución de tensión en los bornes de la dínamo, cuando la intensidad de la corriente en el inducido aumenta.

Como la fuente o generador de la electricidad necesaria para la excitación es independiente, y



la resistencia x es regulable, se escogerá un generador de electricidad cuya diferencia de potencial u sea suficiente para que, funcionando la máquina a plena carga, la intensidad de la corriente de excitación cree el campo magnético inductor necesario para producir la diferencia de potencial U fijada en los bornes de la máquina. En otras palabras, la diferencia de potencial entre los bornes de una máquina excitada independientemente depende del generador extraño a ella que alimenta el circuito de excitación y de la resistencia $(r+x)$ de este circuito. Para una intensidad de la corriente de excitación constante ella disminuye cuando la intensidad de la corriente en el inducido aumenta.

En las máquinas de autoexcitación el problema es más complejo, puesto que la intensidad de la corriente excitatriz depende de la diferencia de potencial entre los bornes de la máquina.

Consideremos en primer lugar el caso de una máquina excitada en serie (fig. 49). Supongamos que ha alcanzado su velocidad de régimen: gracias al magnetismo remanente, hay una fuerza electromotriz inducida en el devanado del inducido y, por tanto, una débil tensión entre los bornes de la máquina. Para que el devanado del inductor sea recorrido por una corriente eléctrica es preciso que el circuito del cual forma parte la máquina esté cerrado.

Si así ocurre, la débil tensión existente entre los bornes de la máquina da lugar a una corriente que pasa a la vez por el devanado del inducido,

por el devanado inductor y por el circuito externo.

La corriente en el devanado inductor crea un campo magnético que se suma al ya existente, debido al magnetismo remanente, de lo cual resulta un aumento de la fuerza electromotriz inducida y, por consiguiente, de la intensidad de la corriente: ésta depende de la resistencia del circuito sobre el cual trabaja la máquina, y de la fuerza electromotriz inducida que no aumenta indefinidamente, en primer lugar a causa de la saturación de los cuerpos magnéticos

que constituyen los inductores, y además a causa de la resistencia y de la reacción del inducido, que cada vez es más importante a medida que aumenta la intensidad de la corriente. Llegará un momento en el que se establecerá un equilibrio, es decir, en el que, para una intensidad de la corriente dada, la diferencia de potencial entre los bornes de la máquina cesa de

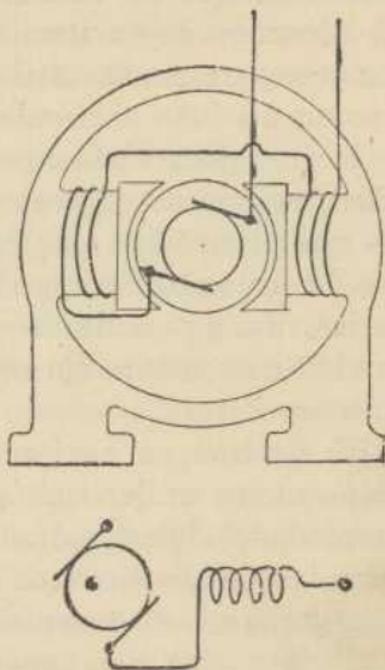


Fig. 50. — Representación esquemática de la excitación en serie de una dínamo.

crecer : este estado de equilibrio depende precisamente de la resistencia del circuito externo. Esta es la resistencia que se debe regular para obtener el estado de equilibrio.

No insistiremos más sobre las propiedades de las máquinas de excitación en serie, las cuales, por otra parte, no se utilizan como generadores, sino en un caso particular : en el de transporte de la energía a distancia. Existen algunas instalaciones de este género (sistema THURY), en las que el circuito externo ciérrase siempre sobre la máquina. Se regula la velocidad de la o de las máquinas a fin de que la intensidad de la corriente se mantenga constante en todo el circuito.

El sistema de excitación más generalmente empleado es en derivación o shunt (fig. 50). Las propiedades de estas máquinas son muy semejantes a las de las máquinas excitadas independientemente, pero el generador de electricidad para el circuito excitatriz es, en este caso, la máquina misma ; se ha de escoger, pues, una diferencia de potencial conveniente para alimentar este circuito. El único medio de que se dispone para regularizar la intensidad de la corriente de excitación, es una resistencia x variable que se puede intercalar en el circuito inductor.

Supongamos primeramente que la intensidad de la corriente en el inducido sea nula. Alcanzada la velocidad de régimen, el magnetismo remanente crea en el inducido una fuerza electromotriz que da lugar a su vez a una corriente

en el circuito de excitación, que provoca por consiguiente el aumento de la intensidad del campo magnético inductor y, por lo tanto, de la fuerza electromotriz inducida, hasta que a causa de la saturación cesa de aumentar. El régimen establécese entonces y la fuerza electromotriz o la tensión en los bornes de la máquina permanece constante.

Si entre tanto se carga la máquina, lo cual ocurre al cerrar el circuito externo, el inducido es recorrido entonces por una corriente, tiene lugar una caída de tensión en el mismo, debido a las causas definidas más arriba, y, por consiguiente, una disminución de tensión en los bornes de la máquina. Es preciso advertir que esta disminución de tensión es más importante en el caso de la excitación en derivación que en el de excitación independiente: en este último caso, la intensidad de la corriente excitatriz permanece constante, mientras que no se modifique la resistencia x ni el generador auxiliar de electricidad. En el caso de excitación en derivación, la diferencia de potencial en los bornes del circuito inductor es la misma que se obtiene en los bornes de la máquina y disminuye cuando la intensidad de la corriente en el inducido aumenta. La intensidad de la corriente excitatriz disminuye en consecuencia con la diferencia de potencial entre los bornes de la máquina y contribuye de esta manera a acentuar su disminución, cuando la carga aumenta. No obstante, si se ha cuidado de proveer, para la intensidad de la co-

riente de excitación, un valor notablemente superior a aquel que corresponde al punto de saturación, la disminución de la diferencia de poten-

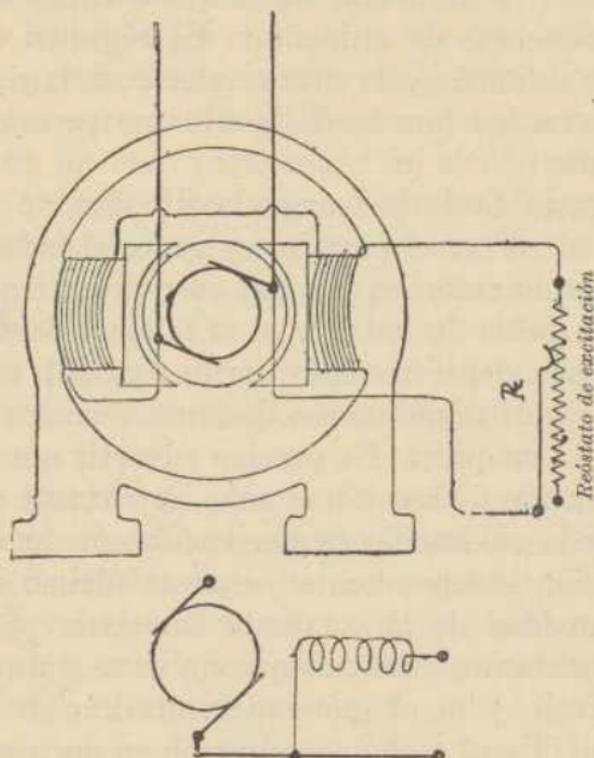


Fig. 51. — Dinamo excitada en derivación o shunt.

cial cuando la carga aumenta puede reducirse a un valor muy pequeño para cargas débiles, es decir, para la pequeña intensidad de la corriente en el inducido. Esta cuestión es un problema de cálculo de la resistencia del circuito inductor, resistencia que se puede hacer variar entre ciertos límites, gracias a la resistencia x intercalada en serie en el circuito.

Examinemos ahora lo que ocurre si la intensidad de la corriente aumenta en el inducido de un modo prácticamente exagerado, es decir, más allá del límite para el cual fué construída la máquina. Esta circunstancia puede ocurrir disminuyendo progresivamente la resistencia del circuito externo : se corre un riesgo en este ensayo : el de provocar un calentamiento anormal de la máquina, llegando a producir una potencia superior a la que debe desarrollar. Se observará que la diferencia de potencial en los bornes continúa disminuyendo a medida que la intensidad de la corriente aumenta. En un instante dado, la caída de tensión en el inducido alcanza una importancia tal, que la disminución de la tensión en los bornes llega a ser muy sensible ; y si continúa disminuyendo la resistencia del circuito exterior, la reacción del inducido tiene una influencia tal sobre el campo magnético inductor que ella llega a reducir absolutamente el efecto : en este momento la máquina deja de ser excitada. En efecto, como la diferencia de potencial entre los bornes del circuito inductor disminuye, todo contribuye a reducir la intensidad de la corriente de excitación y como consecuencia la tensión entre los bornes de la máquina que, en cortocircuito, es decir, sobre un circuito exterior, de resistencia casi sensiblemente nula, no produce corriente alguna. Resulta, pues, de esta advertencia, que el cortocircuito no presenta peligro alguno para una máquina excitada en shunt o derivación : bien entendido que estas condicio-

nes de funcionamiento son accidentales y la marcha normal corresponde a débiles variaciones de la tensión en los bornes para unas grandes variaciones de la intensidad de la corriente del inducido.

Para remediar el inconveniente que representa la variación de la tensión en los bornes de una máquina de excitación en derivación con la intensidad de la corriente en el inducido se emplea un nuevo devanado inductor, llamado suplementario, enlazado en serie con el inducido. Así se obtiene una excitación *compound*. Alrededor de cada polo se arrollan, pues, dos carretes inductorices, uno montado en derivación, el carrete *shunt*, y el otro, un carrete suplementario en serie, recorrido por la corriente del inducido (figura 52). En tanto que el inducido no es recorrido por ninguna corriente, la máquina funciona como una generatriz excitada en derivación. Cuando la máquina funciona enlazada con el circuito externo, el inducido es recorrido por una corriente que pasa por los carretes enlazados en serie del devanado inductor: esta corriente engendra un campo magnético que se suma al ya existente, debido a los carretes conectados en derivación: este campo magnético suplementario aumenta la fuerza electromotriz inducida, y ésta tiene un valor tanto más grande, cuanto la intensidad de la corriente en el inducido es mayor y, por consiguiente, cuanto más elevada es la de la corriente que circula por el devanado inductor montado en serie.

Como, por otra parte, esta intensidad de la corriente da lugar a una caída de tensión en el inducido, sensiblemente proporcional a esta in-

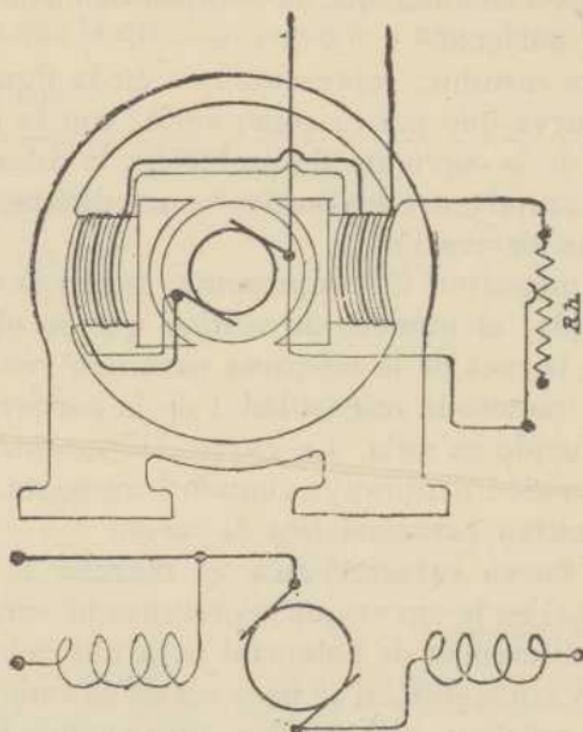


Fig. 52. — Dinamo excitada en forma mixta o compound y representación esquemática.

tensidad de la corriente, la fuerza electromotriz suplementaria debida al devanado inductor en serie compensa esta caída de tensión y la tensión en los bornes de la máquina permanece casi constante e igual al valor que tiene cuando la máquina marcha al vacío. Afirmamos que su tensión casi permanece constante, y no rigurosa y exactamente constante, pues si se estudian de



cerca las variaciones de la caída de la tensión en el inducido por una parte, y las del campo magnético debido al devanado en serie, por otra, se llega a deducir que la compensación no puede ser perfecta.

Para resumir, representamos en la figura 53 una curva que indica cómo varía, con la intensidad de la corriente del inducido, la diferencia de potencial entre los bornes de una máquina excitada en derivación.

La magnitud OA representa, según la escala admitida, el número de voltios que se obtiene en los bornes de la máquina para una velocidad dada, cuando la intensidad I de la corriente en el inducido es nula. La curva AC muestra que esta tensión disminuye cuando I aumenta. Esta es la *curva característica de carga*.

La curva característica de marcha al vacío (fig. 54) es la curva que representa la variación de la diferencia de potencial para una velocidad dada y constante, si se hace variar la intensidad de la corriente excitatriz, y esto cuando la máquina no funciona en circuito cerrado. Es útil conocer esta curva característica que permite determinar la intensidad de la corriente de excitación necesaria para obtener funcionando al vacío una tensión dada en los bornes de la máquina. Nótese particularmente en esta curva el efecto de la saturación de los cuerpos magnéticos: se puede, en efecto, advertir que a partir de un valor determinado de la intensidad de la corriente excitatriz, la tensión en los bornes de la máquina

no aumenta más, cuando la intensidad de la corriente excitatriz aumenta.

La curva característica de la dínamo de excitación compound es la misma para la marcha al vacío que la que corresponde a una dínamo exci-

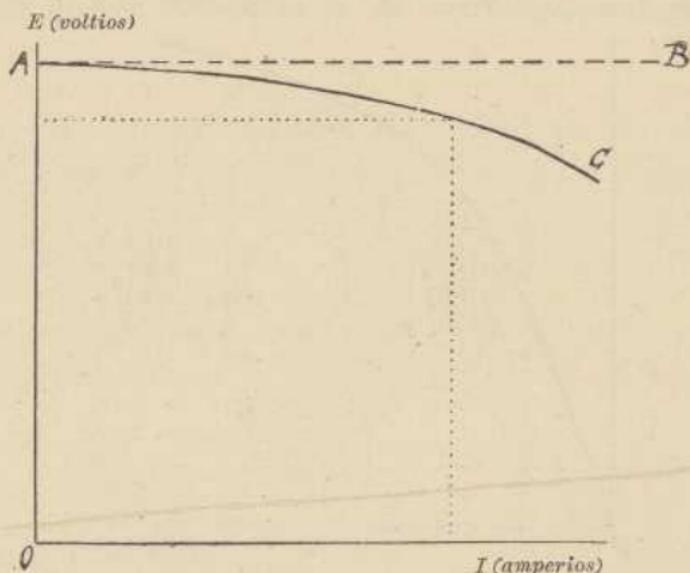


Fig. 53. — Característica en carga o en circuito cerrado de una dínamo excitada en derivación. La diferencia de potencial disminuye un poco cuando la carga aumenta.

tada en derivación, puesto que el devanado inductor dispuesto en serie no ejerce influencia alguna en la marcha al vacío. Aquella correspondencia en la marcha en carga se deduce de la curva característica de la marcha de la generatriz excitada en derivación a plena carga: el devanado inductor en serie obra de tal modo, que tiende a enderezar la curva de manera que la tensión en los bornes de la dínamo queda constan-

te, cualquiera que sea el valor de la intensidad de la corriente en el inducido, como lo indica la línea recta de puntos AB trazada en la figura.

Sobre las mismas máquinas se distinguen los carretes inductrices destinados a ser enlazados

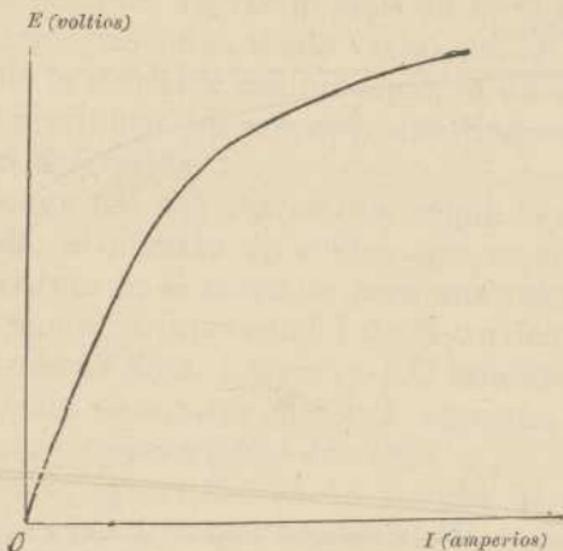


Fig. 54. — Característica de marcha al vacío o en circuito abierto; la curva demuestra que la fuerza electromotriz aumenta cuando lo hace la intensidad de la corriente excitatriz, tendiendo hacia un valor límite, para una velocidad constante.

en derivación de aquellos que están montados en serie. En los primeros, la intensidad de la corriente es generalmente débil: basta para ello colocar una resistencia apropiada: en efecto, tenemos la fórmula

$$i = \frac{U}{r};$$

la intensidad de la corriente ha de ser débil y la resistencia r elevada. De aquí resulta que el

hilo destinado al devanado de estos carretes debe ser fino, primeramente para que el número de espiras pueda ser bastante elevado, y luego para que la resistencia, que aumenta cuando la sección del hilo disminuye, sea grande.

En lo que concierne a los carretes montados

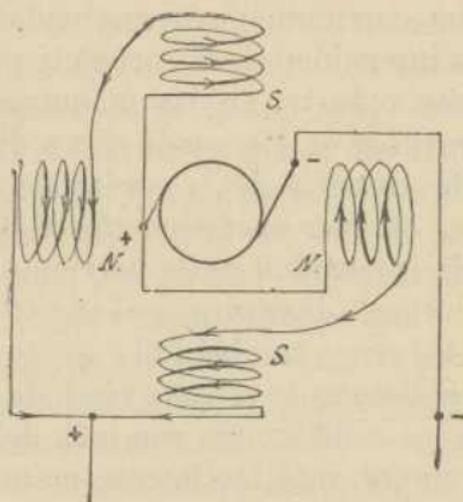


Fig. 55. — Esquema de las conexiones de los carretes dispuestos en serie de un devanado en compound montados por dos en paralelo en una máquina tetrapolar.

en serie, la corriente que por ellos circula es la del inducido; su intensidad es, en general, elevada; así, pues, es preciso reducir la resistencia y construir los devanados de estos carretes con hilo, cable y aun láminas, según la importancia de la máquina, de dimensiones notablemente superiores a las de los hilos destinados a formar los devanados de los carretes montados en derivación.

Notemos, por último, que frecuentemente, para reducir la intensidad de la corriente en los carretes montados en serie, se les dispone en dos series que luego se enlazan entre sí en derivación, según representa la figura 55. Si I es la intensidad de la corriente en el inducido, expresado en amperes, pasará por cada uno de los carretes una corriente cuya intensidad será la mitad de la intensidad de la corriente primitiva. Esto permite reducir, en las máquinas importantes, el espesor de los conductores destinados al devanado en serie de la excitación en compound. Para obtener el mismo efecto que el que producirá la intensidad de la corriente total, se duplica el número de espiras; el efecto es, pues, el mismo, así como también el espacio que ocupan, pero el devanado es más fácil de realizar, puesto que los conductores son más delgados y, por consiguiente, más fácilmente manejables.

Regulamiento de la tensión. — De lo expuesto hasta aquí se deduce que las generatrices excitadas en serie únicamente serán aceptadas cuando se quiere mantener constante la intensidad de la corriente en el circuito que ellas tienen que alimentar. Si, por el contrario, se ha de mantener constante la tensión, se empleará preferentemente una dínamo de excitación en derivación, o mejor aún una dínamo excitada en forma mixta o compound. Pero no es suficiente, para que la tensión tenga un valor constante, que se utilice una dínamo excitada en derivación ni en

compound ; ya hemos visto, en efecto, que la tensión varía en sus bornes con las variaciones de la carga frecuentemente entre bastante grandes límites en el caso de que la máquina esté excitada en derivación, límites algo más reducidos cuando la máquina está excitada en compound.

Otra causa de la variación de la tensión es la variación de la velocidad de rotación del inducido. Si la máquina motriz no está provista de un regulador de velocidad muy sensible, el menor aumento de carga puede dar lugar a una reducción de la velocidad y, por consiguiente, a una disminución de la tensión, la que, según ya hemos dicho y repetido, es proporcional a la velocidad. Ahora bien : sobre una red eléctrica, estos aumentos muchas veces bruscos de carga son frecuentes. Es preciso recordar que es una red eléctrica, para comprender en qué condiciones funcionan las máquinas generadoras. La red comprende el conjunto de aparatos eléctricos alimentados por la estación central ; según eso, cada vez que se pone en servicio uno de estos aparatos, sea un motor eléctrico o lámparas, se aumenta la carga de la máquina o máquinas de la central eléctrica y se concibe que esta puesta en marcha puede tener lugar simultáneamente en distintos puntos de la red ; en este caso, el aumento de carga es considerable, y es fácil de comprobar una reducción en la velocidad de las máquinas y de sus tensiones, en el mismo instante en el que convendría que esta tensión fuese elevada o al menos alcanzase su valor normal.

Para no hacer depender la generatriz únicamente de la máquina motriz, y para poder regular la tensión en sus bornes sin obligar a corregir su velocidad, se tiene la precaución de mon-

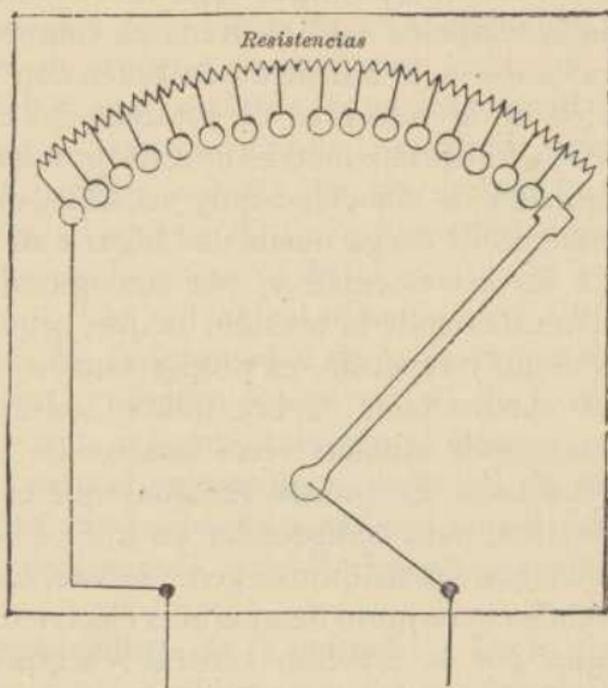


Fig. 56. — Reostato o resistencia.

tar, en el circuito inductor en derivación, una resistencia x que se puede hacer variar. Disminuyendo esta resistencia x se aumenta la intensidad de la corriente excitatriz, de donde resulta un aumento de flujo inductor y, por consiguiente, de tensión en los bornes.

El aparato destinado a regular la tensión mediante el regulamiento de la corriente excitatriz

se llama *regulador de inducción*; consta de conductores de resistencia determinada dispuestos en serie, constituidos por alambres de maillechort o de hierro, según la importancia de la máquina y, por consiguiente, según la intensidad de la corriente inductora; estos conduc-

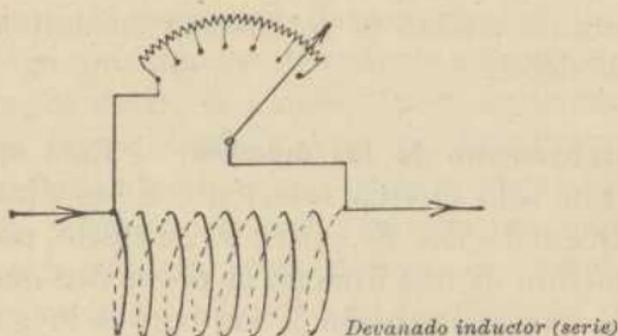


Fig. 57.—Esquema de conexiones de un devanado inductor en serie y de una resistencia reguladora montada en derivación.

tores comunican con unos contactos sobre los cuales se mueve un conmutador (fig. 56).

Haciendo girar el conmutador se hace variar la resistencia y la intensidad de la corriente inductora. El conmutador funciona a mano o bien automáticamente (mediante un pequeño motor o electroimán); en este caso el regulamiento de la tensión es automático.

Por último, hemos de hacer notar que esta manera de regular la tensión tan sólo es aplicable a los devanados inductores montados en derivación: en las máquinas compound, se monta esta resistencia sobre el circuito inductor en derivación. Si se quiere accionar sobre el cir-

cuito en serie, tanto de las máquinas excitadas en compound, como en las excitadas en serie, se puede montar también una resistencia, pero no enlazada en serie con el devanado sino en derivación (fig. 57). Esta resistencia produce una reducción de la intensidad de la corriente en el devanado en serie y esta reducción es tanto más importante cuanto la resistencia en derivación es más débil.

Encabamiento de las máquinas. — Esta operación tan sólo guarda relación con las máquinas de autoexcitación. Se entiende, en efecto, por *encabamiento* de una máquina la propiedad que posee de dar una tensión a sus bornes luego que ha alcanzado su velocidad de régimen. Ahora bien, en las máquinas de excitación independiente, la fuerza electromotriz toma nacimiento en el inducido tan pronto como se pone éste en movimiento y se establece la corriente de excitación, que por definición proviene de una fuente extraña. En las generatrices de autoexcitación el problema, según hemos ya advertido, es más complicado. Es preciso que el magnetismo remanente sea suficiente para provocar por inducción una fuerza electromotriz, débil, pero susceptible de dar lugar, en el circuito de excitación, a la corriente inductora indispensable al buen funcionamiento de la máquina. Si así ocurre, se dice precisamente que la máquina se ceba a sí misma.

En lo que a las máquinas excitadas en serie se

refiere, recordaremos que la resistencia del circuito exterior debe ser débil para que pueda tomar nacimiento una corriente de potencia suficiente en los carretes inductrices en serie.

Si la máquina no se ceba, para una velocidad y una resistencia del circuito exterior determinadas, se debe ora aumentar la velocidad, ora disminuir la resistencia del circuito exterior con el riesgo consiguiente de reducir esta resistencia a cero, es decir, de establecer un cortocircuito, y esto, bien entendido, con infinitas precauciones y cuidando atentamente de no dejar funcionar la máquina en este régimen tan anormal sino tan sólo un breve espacio de tiempo. Si aumentando la velocidad de la máquina en un 25 por 100 a 50 por 100 de su velocidad de régimen y reducida la resistencia en el circuito exterior a cero, la máquina no se ceba, es que hay en ella un defecto de construcción. Siendo tan pequeño el número de instalaciones que funcionan con máquinas excitadas en serie, no detallaremos aquí las disposiciones que se han de adoptar ni los ensayos que han de llevarse a cabo para buscar la causa de este defecto.

Las máquinas excitadas en shunt y en forma mixta o compound, funcionando en condiciones normales, pueden dejar de cebarse. En este caso conviene poner fuera de circuito todos los aparatos alimentados por la máquina, es decir, hacerla funcionar en circuito abierto, y si en estas condiciones no se ceba, se aumenta su velocidad si es posible.

Es siempre útil, en el caso que la máquina no se cebe, asegurarse que la corriente excitatriz tiene un sentido tal que el campo magnético al cual da nacimiento se suma al del magnetismo remanente, es decir, que los polos inductores conserven bajo la acción de la corriente excitatriz su polaridad. Se comprueba esto, conectando a los bornes de la máquina un voltímetro: su aguja se desvía ligeramente cuando la máquina gira sin ser excitada, estando abierto el circuito de excitación. Se observa atentamente esta desviación, que indica el valor de la fuerza electromotriz debida al magnetismo remanente. Después se cierra aquel circuito: si en este momento la aguja del voltímetro se desvía en sentido inverso, es decir, vuelve a cero, para pasar luego tal vez al otro lado del mismo, el sentido que tiene la corriente excitatriz no es el conveniente, por lo que es preciso, para conseguirlo, invertir las conexiones del devanado inductor. Si, por el contrario, la aguja del voltímetro permanece inmóvil, es preciso buscar la causa de que la máquina no se cebe.

Se comprobará primeramente si la presión de las escobillas sobre el colector es suficiente: se podrá desde luego asegurar que el contacto de las escobillas es perfecto, y que el devanado del inducido no está roto en punto alguno, conectando a los bornes del inducido un acumulador en serie con un amperímetro, que indique si la corriente pasa o no a través del devanado inducido.

Si se dispone de algún otro generador de elec-

tricidad además de la máquina y cuya tensión fuese igual a la de ésta, se comprueba si el circuito inductor está en buen estado. Para esto se alimenta el circuito inductor con esta fuente eléctrica auxiliar, teniendo cuidado de intercalar en serie en este circuito un amperímetro. Si la aguja de éste no se desvía es señal de que el devanado inductor está roto en algún punto ; se busca este punto, poniendo fuera de servicio, sucesivamente, las diversas partes del circuito, comenzando el examen por el regulador de inducción. Si el amperímetro no da indicación alguna, incluso cuando este aparato está fuera del circuito, se disponen en cortocircuito los carretes inductrices, uno a uno, para buscar cuál de ellos pudiera ser la causa del defecto : téngase cuidado, al realizar esta serie de operaciones, de introducir en el circuito el regulador o reostato de inducción.

Si en el primer ensayo la aguja del amperímetro se desvía, lo que indica que no hay ruptura alguna en el devanado del circuito, se anota la intensidad de la corriente indicada por el amperímetro, y se hace girar el inducido a su velocidad de regimen. Mediante un voltímetro intercalado entre los bornes de la máquina, se comprueba si ésta alcanza la tensión normal.

Si así ocurre, esto pone de manifiesto la ausencia o insuficiencia de magnetismo remanente, y de aquí la gran dificultad de que la máquina excitada en derivación pueda cebarse : se remedia este inconveniente haciendo pasar la corriente

de la fuente o generador eléctrico auxiliar a través del circuito de excitación durante un cierto tiempo, para imantar tan completamente como sea posible las piezas inductoras de la máquina y haciendo que la corriente tenga la máxima intensidad que se pueda admitir en los inductores. Para calcular esta intensidad se cuenta que la intensidad de la corriente excitatriz en el devanado en derivación no pase generalmente del 3 por 100 del valor de la intensidad normal producida por la máquina : en las máquinas de tipo antiguo la intensidad se puede elevar excepcionalmente a un 5 ó 6 por 100 de este mismo valor. Se podrá, pues, fijar, por todo el tiempo que dure el ensayo en cuestión, una intensidad de corriente en el circuito de excitación de un 6 por 100, como máximo, de la intensidad producida, generalmente, por la máquina.

Si la tensión del generador que accidentalmente alimenta el circuito de excitación no puede ser aumentada y es igual a la que se debe obtener en los bornes de la máquina, bastará suprimir el regulador de inducción o reostato en el circuito de excitación. Imántanse así los polos en el mayor grado posible y se comprueba en seguida que hay magnetismo remanente si, funcionando en autoexcitación, la dínamo presenta una tensión en sus bornes.

Si la aguja del voltímetro no se desvía en el ensayo de excitación independiente, aunque se establezca la corriente excitatriz y alcance ésta su valor normal, es preciso atribuir el defecto al

sistema de montaje de los carretes inductrices o del inducido mismo : se comprobará entonces :

1.º Modificando las conexiones de los carretes inductrices e intercambiándolas.

2.º Se modificará la posición de las escobillas sobre el colector, asegurándose que durante el desplazamiento la aguja del voltímetro no sufre desviación alguna.

3.º Se examinará atentamente el montaje del devanado inducido, y se comprobará si las soldaduras de las conexiones con las láminas del colector están bien hechas.

4.º Habrá que asegurarse de que no hay ruptura alguna en los hilos del devanado inducido. Ésta última comprobación no se puede hacer sino suprimiendo las conexiones de las secciones a las láminas del colector, y probando las secciones, una después de otra, después de haberlas aislado. Se aprovechará esta ocasión para asegurarse al mismo tiempo de que el aislamiento entre las láminas del colector es perfecto. La primera comprobación se hace mediante una pila o un acumulador, montado en serie con un timbre, y se intercala la sección que se trata de ensayar en el circuito.

Para la segunda se toma un generador de electricidad a una tensión próxima a la que debe dar la dínamo, a los bornes de la cual se conecta un voltímetro : téngase cuidado de intercalar en el circuito dos láminas consecutivas del colector. La aguja del voltímetro no se debe desviar si las láminas están bien aisladas. Si aquélla se

desvía, es señal de que existe un defecto en el aislamiento, tanto más grande, cuanto mayor es la desviación de la aguja. Si el voltímetro da como indicación la misma tensión que el generador auxiliar, indica que las dos láminas comunican entre sí perfectamente, siendo entonces indispensable reparar el defecto. Hemos de hacer notar, sin embargo, que este defecto solo no es suficiente para explicar el por qué no se ceba la máquina: él tan solo contribuye a ello. Así, pues, una vez reparado conviene comprobar el aislamiento de las restantes láminas del colector antes de restablecer las conexiones de las mismas con el devanado del inducido.

Conexión de las dinamos. — Este problema se presenta frecuentemente en las centrales eléctricas que contienen muchas máquinas generatrices destinadas a funcionar, ya sea independientemente las unas de las otras, sea conjuntamente sobre la misma red.

Las generatrices excitadas en serie que convienen para la alimentación de redes, en las que se mantiene una intensidad constante, pueden conectarse en serie. Por las razones indicadas más arriba, no insistiremos sobre las operaciones que hay que hacer para ello; tan sólo advertiremos al lector que en estas instalaciones a intensidad constante es preciso evitar toda ruptura del circuito principal. Con este fin, cuando se deja o pone una dinamo fuera de servicio, sus dos polos o bornes se conectan con los dos

topes de un conmutador que deja a la máquina en cortocircuito cuando ella está en reposo (figura 58).

Es conveniente advertir que la conexión en paralelo o derivación de generatrices excitadas en serie requiere precauciones particulares, y no ofrece mucho interés desde el punto de vista práctico.

Las generatrices excitadas en derivación y en forma mixta o compound pueden conectarse en paralelo o en serie.

Estas máquinas dan corrientes de tensión sensiblemente constante. Supongamos una máquina en marcha y sus bornes enlazados mediante un interruptor cerrado a dos hilos conductores entre los que existe la misma diferencia de potencial que entre los bornes de la máquina: esta diferencia de potencial constituye la *tensión de la distribución*. Entre estos dos hilos se montan en derivación los aparatos de utilización de la red, ya sea directamente o bien mediante otros conductores, constituyendo así los *ramales* de la red. Cualquiera que sea la distribución, la diferencia de potencial entre los bornes de estos aparatos es sensiblemente igual a la que existe entre los bornes de la máquina, y la intensidad de la corriente producida por el generador es igual a la suma de las intensidades de las corrientes que recorren los aparatos de utilización. Cuanto mayor es el número de aparatos en servicio, tanto más grande es la intensidad de la corriente producida por el generador, e igualmente la poten-

cia producida por la máquina es tanto mayor, cuanto mayor es también el número de aparatos y cuanto mayor es la potencia absorbida por

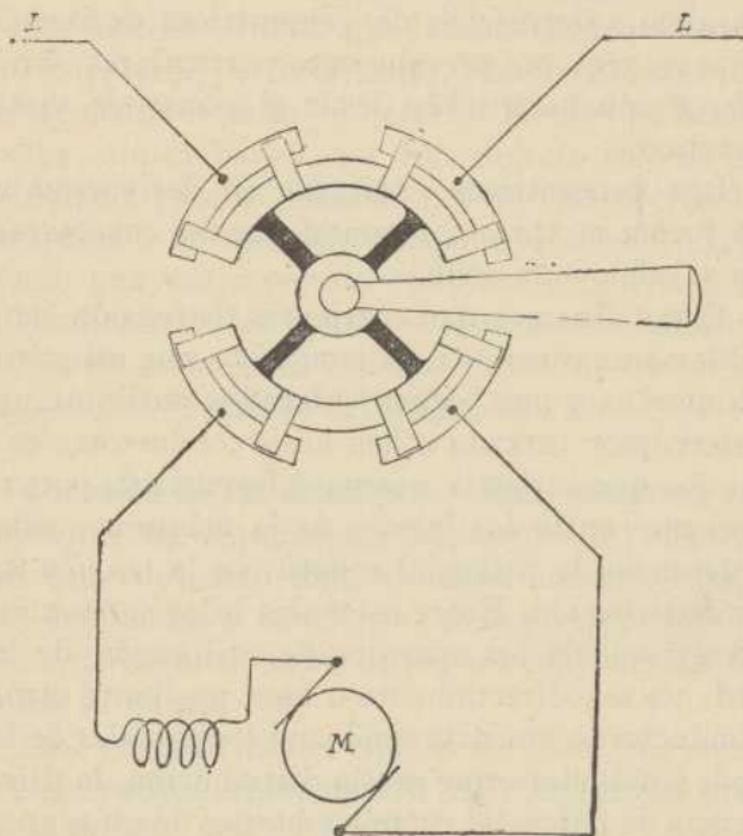


Fig. 58. — Interruptor de cortocircuito para generatrices excitadas en serie, y acopladas en derivación.

cada uno de ellos. Puede llegar un momento en que una sola dínamo no sea suficiente para alimentar la red, en cuyo caso es preciso proveer la estación central con nuevos generadores. Trátase, pues, de poner en marcha una nueva gene-

ratriz y de hacer llegar a la red la corriente por ella producida, para que ésta se sume a la producida por la primera máquina y la carga se reparta entre ambas máquinas.

Esta operación, por la que se pone en servicio esta generatriz, es precisamente lo que se llama *conexión en paralelo* de la segunda máquina sobre la primera. Es preciso hacer girar primeramente la máquina, y asegurarse mediante un voltímetro que la tensión en sus bornes alcanza la tensión de régimen. Esta máquina está conectada a los dos hilos conductores que parten de la primera máquina por intermedio de un interruptor que permanece abierto en tanto que la máquina no está en servicio. Se mide, pues, la diferencia de potencial entre sus bornes, estando el interruptor abierto (fig. 59). Cuando se alcanza esta tensión, y aun sobrepasada algo la tensión de régimen que existe en el momento de la maniobra entre los dos conductores que parten hacia la red, se cierra el interruptor de la máquina que se quiere conectar. Se habrá tenido cuidado, al hacer el montaje de los aparatos de la estación central, de proveer de un amperímetro el circuito de cada máquina; gracias a este aparato se puede asegurar, después de acoplada la segunda máquina, que la corriente producida por esta máquina tiene un sentido conveniente y que su intensidad es sensiblemente igual a la de la corriente producida por la primera máquina, es decir, que la carga se reparte casi igualmente entre ambas máquinas. Esto supone que ambas



ciso invertir los enlaces o conexiones que unen los bornes a los hilos de la red. Pero este error tan sólo puede ocurrir cuando la máquina se acopla por primera vez, después de su montaje, o después de realizada una reparación a continuación de la cual se hubiesen podido invertir las conexiones. Cuando ya se hubiese conectado la máquina una o varias veces, lo cual hace presumir que los enlaces con la red están bien hechos, y que igualmente está bien enlazado el circuito primario o inductor, y que tampoco se ha cambiado el sentido de la rotación de la máquina, la inversión del sentido de la corriente no puede atribuirse sino a una excitación excesivamente débil de una de las máquinas : en este caso se hará girar en tal sentido la manivela del reostato, que es donde tiene lugar la inversión de la corriente, que se supriman las resistencias en serie en el circuito de excitación, y si esto no es suficiente, se aumenta la velocidad de rotación de la máquina.

De la misma manera se procede cuando la anomalía se observa en generatrices de excitación en derivación y en compound ; y todo lo que acabamos de decir cuando se trata de una sola máquina, se puede aplicar en el caso de conectar a la red dos, tres, o más máquinas que hayan de trabajar en paralelo con las ya en servicio.

En el caso de que se trate de máquinas excitadas en forma mixta o compound, habrá de tomarse una cierta precaución al proceder a su

montaje. Es preciso evitar que la inversión eventual del sentido de la corriente en el inducido, del cual hemos hablado más arriba, se produzca al mismo tiempo en el devanado en serie del inductor ; en efecto, la inversión del sentido de la corriente en una de las máquinas conectadas es debida a una excitación demasiado débil : ahora bien, si el sentido de la corriente está invertido en el devanado inductor en serie, el campo magnético debido a este devanado, en lugar de sumarse con el producido por el devanado en derivación, se reduce o se excluye y, por consiguiente, contribuye a disminuir el efecto de la excitación, que es ya demasiado débil. Por esta razón se ha de tener cuidado, cuando se monta la máquina, de enlazar mediante un conductor llamado de *equilibrio* (fig. 60) los bornes de los inducidos de las máquinas que se acoplan, los cuales están enlazados cada uno, respectivamente, a su devanado inductor dispuesto en serie.

Nosotros ya hemos indicado, de paso, las precauciones que se han de tomar al acoplar en paralelo dos máquinas de potencias diferentes : estas precauciones se refieren a la repartición de la carga entre las máquinas en servicio. Esta es la única precaución que se ha de tomar. No hay inconveniente en acoplar en paralelo máquinas que no son idénticas, con la condición de que estén previstas para dar la misma tensión en sus bornes a marcha normal.

Se comprende fácilmente el interés que presenta la propiedad de las máquinas, excitadas en

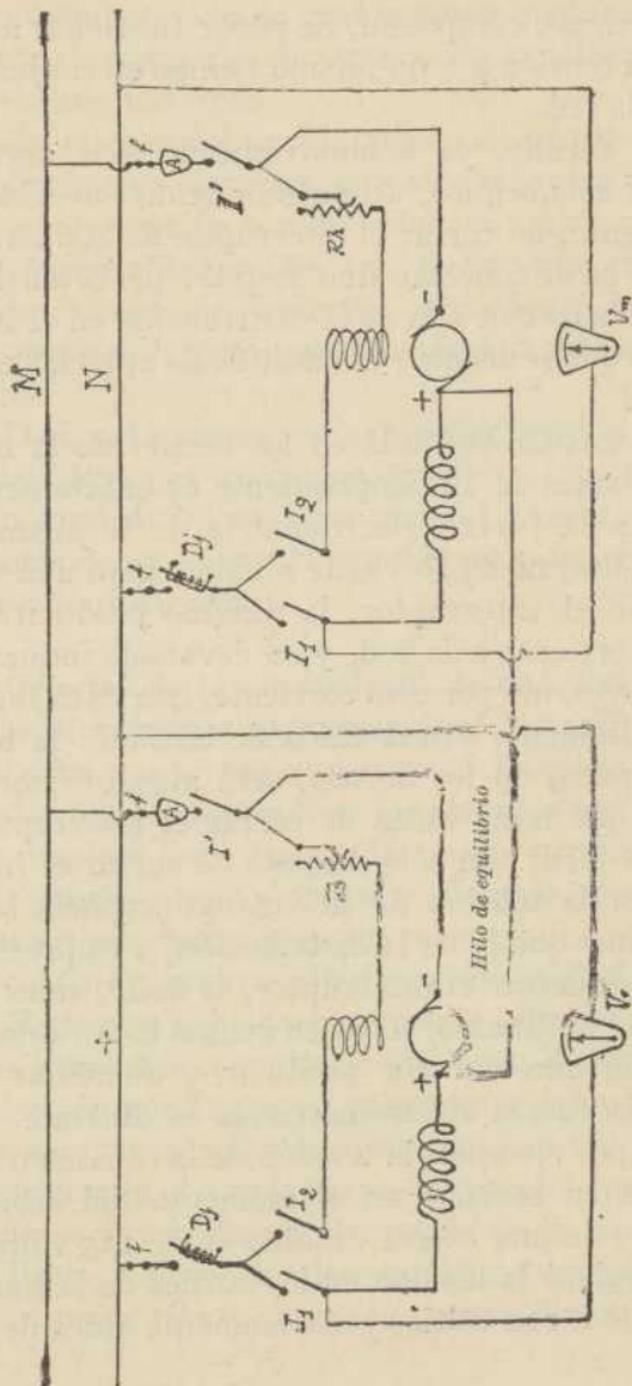


Fig. 60. — Acoplamiento en paralelo de dinamos excitadas en compound.

derivación o compound, de poder funcionar a la misma tensión y a un mismo tiempo en conjunto sobre la red.

Por último, ya hemos indicado más arriba que es más seguro, después de realizado el acoplamiento, no cerrar el interruptor de la máquina que se ha de conectar sino después que la tensión es algo superior a la de la distribución en el momento que se acopla ; es cuestión de apreciar este punto.

La tensión obtenida en los bornes de la máquina antes de su acoplamiento es exactamente igual a la fuerza electromotriz de la misma : ella, pues, no da corriente alguna. Pero una vez cerrado el interruptor, la máquina producirá y dará corriente a la red, y su devanado inducido será recorrido por esta corriente, que dará lugar en el inducido a una caída de tensión : la tensión, pues, en los bornes, será algo inferior al valor que tenía antes de cerrar el interruptor. Ahora bien, tan sólo después de cerrar el interruptor la tensión de la máquina acoplada será la misma que la de la distribución, y es preciso, antes de cerrar el interruptor, es decir, antes de acoplar la máquina, tener en cuenta esta caída de tensión que se va a producir y aumentar un poco la fuerza electromotriz de la máquina.

Si, por ejemplo, la tensión de la máquina o máquinas en servicio en el momento del acoplamiento de una nueva máquina es de 115 voltios, se regulará la tensión en los bornes de la nueva máquina a 120 voltios próximamente antes de su

acoplamiento, con lo cual venimos a admitir una caída de potencial en servicio de 5 voltios en el devanado inducido.

En el caso del acoplamiento de una máquina excitada en compound con otra máquina excitada en derivación o compound, es menos necesario tomar esta precaución, puesto que el devanado en serie del inductor compensará la caída de tensión después que la máquina esté en servicio.

De igual manera que se pueden acoplar en paralelo dínamos excitadas en derivación, se pueden también montar en serie. La operación es menos delicada que la precedente y no presenta dificultad alguna.

Defectos de funcionamiento de una dínamo. —

Nos proponemos examinar aquí los principales defectos que se presentan en el funcionamiento de las dínamos, e indicar los métodos que se han de emplear para buscar la causa y remediarla. Invitamos, pues, al lector a compenetrarse bien con estos métodos para los casos en que se puede encontrar y que no están aquí indicados.

Ya hemos hablado largamente sobre el defecto que presentan a veces las dínamos, de no cebarse, razón por la que no volveremos sobre el mismo asunto, ni sobre las precauciones que se han de tomar en el acoplamiento en paralelo para evitar una inversión en el sentido de la corriente.

Basta, a propósito de esta última anomalía, en el caso que ella se presente en una dínamo exci-

tada en derivación, conectada en paralelo con otras generatrices, señalar que el método se aplica de un modo general y no solamente en el momento del acoplamiento. Si la aguja del amperímetro se desvía en sentido inverso a su posición normal, se aumentará la tensión, mediante el regulador de inducción de la máquina, hasta que el sentido de la corriente haya cambiado y sea normal.

Entre los demás efectos anotaremos : la producción de chispas en las escobillas y el calentamiento anormal del inducido o de los inductores.

1.º *Producción de chispas en las escobillas.* Puede ser atribuída a causas de orden mecánico o eléctrico. Pero en lugar de clasificar los métodos empleados para buscar el defecto según la causa, vamos a proceder comenzando por las operaciones más sencillas.

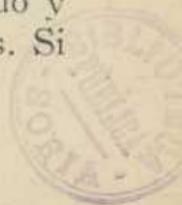
Ante todo, es preciso asegurarse de que las escobillas están bien caladas, avanzadas con respecto a la línea neutra, según el sentido de rotación de la máquina. A este fin conviene hacer notar que según la disposición del devanado del inducido la línea neutra eléctrica, la que viene determinada por las dos mitades del devanado montadas en paralelo, puede no ser perpendicular a la línea de los polos, o bien, por el contrario, confundirse con ella : si se trata de máquinas multipolares, teniendo más de dos líneas de escobillas, las diversas líneas neutras, definidas como la de una máquina bipolar, pueden

no estar dirigidas según las bisectrices de las líneas de los polos. Se puede, pues, sin temor alguno, al buscar la posición conveniente de las escobillas, separarlas de la línea neutra teórica cuando no se conoce la máquina. Si las chispas vuelven a aparecer después de un cierto tiempo de servicio de la máquina, lo que ha permitido fijar la posición exacta de las escobillas, es inútil entonces desviarlas: las chispas pueden entonces ser debidas a una ligera desviación de las escobillas o a una inversión del sentido de rotación del inducido.

Importa conocer además la carga de la máquina bajo la cual se producen estas chispas. Si únicamente se comprueban para una intensidad de la corriente superior a la intensidad para la cual se ha construído la dínamo, es difícil evitarlas, a menos que se encuentre una posición conveniente de las escobillas para esta intensidad. Si aquéllas se producen a cualquier intensidad de la corriente, cualquiera que sea la posición de las escobillas, es preciso buscar la causa del fenómeno en otra parte.

A veces la producción de chispas puede tener lugar únicamente cuando las escobillas son nuevas, a causa de estar mal redondeada su superficie de contacto; pero no tardarán en desaparecer cuando las escobillas hayan adoptado la forma del colector.

Si se observa y comprueba que las escobillas vibran, conviene asegurarse del buen estado y eficacia de los resortes de los portaescobillas. Si



parece que ejercen una presión suficiente, las chispas pueden atribuirse ora al hecho de que el colector no es rigurosamente cilíndrico, ora a que la capa aislante sobresale o es más alta que las láminas de cobre del mismo. El primer caso es un defecto de construcción que se puede corregir torneando el colector, y en el segundo caso basta afinarlo. Pero es preciso vigilar atentamente el funcionamiento de este colector, pues si el aislante tiende a sobrepasar a las láminas de cobre, esto es debido a que las láminas no están suficientemente ajustadas y comprimidas o también a una diferencia en la dureza del aislante y del metal, y el defecto de funcionamiento se reproducirá seguramente. El afinado del colector no remedia sino momentáneamente el defecto de la máquina. Por consiguiente será mejor dar cuenta de la anomalía al constructor, si se comprueba con excesiva frecuencia la producción de chispas.

Lo mismo procede hacer si la producción de chispas es debida a un defecto del centrado del inducido, principalmente en las máquinas multipolares con devanado en paralelo.

Por último, la producción de chispas puede ser debida a la ruptura de un carrete del inducido : en este caso las chispas se producen principalmente en la lámina del colector que corresponde al carrete defectuoso ; se comprueba entonces que el aislante ha sido fuertemente atacado entre estas dos láminas ; en este caso se ha de examinar uno de los dos carretes conectados con cada una

de estas dos láminas. Se cuidará entonces de quitar las conexiones de los carretes o las láminas después de asegurarnos previamente de que el defecto no es debido a las conexiones mismas y de comprobar que la corriente pasa por cada carrete tomado separadamente.

2.º *Calentamiento anormal del inducido o de los inductores.* — Las dinamos están calculadas y construídas para una potencia determinada que se llama potencia normal de la máquina.

Es evidente que si la red exige a la máquina una potencia algo superior a su potencia normal, la máquina podrá desarrollarla, pero funcionará entonces en malas condiciones, es decir, que el rendimiento de la máquina tiende a bajar y que la intensidad de la corriente en el inducido alcanza un valor superior a aquella para la cual los conductores han sido previstos; como consecuencia, se calientan estos conductores, y, como es natural, toda la masa metálica que constituye el inducido. Este calentamiento puede llegar a ser peligroso a causa del cambio de estado que sufre el aislante que rodea al conductor, pudiendo llegar a perder sus propiedades protectoras si su temperatura se eleva de una manera exagerada. Así, pues, se ha fijado que la elevación de temperatura de los devanados de una dinamo no puede ser superior a 50 grados, como término medio, sobre la temperatura del local en el que se encuentra instalada. Un calentamiento anormal es, pues, por definición, una elevación de temperatura superior a 50 grados.

Como acabamos de ver, se puede observar un calentamiento anormal del inducido cuando la máquina está sometida a una sobrecarga, es decir, cuando desarrolla una potencia superior a su potencia normal. En general, el constructor garantiza que la máquina puede soportar una sobrecarga determinada durante un tiempo limitado; la máquina no alcanza entonces una temperatura peligrosa, si la duración de la sobrecarga no sobrepasa esta garantía. Pero este calentamiento llega a ser exagerado, cuando la sobrecarga sobrepasa este límite, o si la duración de una sobrecarga débil es excesivamente prolongada.

Así, pues, si se llega a constatar una elevación de temperatura del inducido, el primer cuidado del electricista encargado de la vigilancia de la máquina debe ser leer las indicaciones del amperímetro y del voltímetro. Si se trata de una máquina excitada en derivación o compound, es preciso que la indicación del voltímetro corresponda a la tensión normal de servicio. Una vez observada esta condición, el electricista se dará cuenta, mirando la indicación del amperímetro, de si la intensidad de la corriente producida por la máquina es superior, igual o inferior a la intensidad normal de la misma. Si dicha intensidad es mucho mayor que la normal, el calentamiento del inducido se explica a causa de funcionar la máquina sobrecargada: esto se evita cortando la alimentación de la red si es preciso.

Si la elevación de la temperatura no es impu-

table a la sobrecarga, es preciso comprobar y mirar el devanado del inducido, en el cual algunas espiras pueden estar en cortocircuito. Pero este defecto se traduce también por la producción de chispas en las escobillas, o bien por el hecho frecuente, en el caso de que la máquina sea de auto-excitación, de que no se cebe. En este caso se impone un serio y detenido examen del devanado.

Por último, el calentamiento puede provenir ora de una fuerte presión de las escobillas sobre el colector, ora de la mala calidad de las mismas.

Cuando los carretes inductrices sufren un calentamiento anormal, es preciso comprobar si esto ocurre a todos o sólo a algunos de los mismos.

Si se comprueba la elevación de temperatura en los carretes, se puede atribuir el fenómeno a una tensión excesiva en los bornes del circuito inductor, o a una velocidad de rotación demasiado débil para la tensión normal en los bornes de la máquina. La corriente tiene una intensidad demasiado elevada, que se disminuye aumentando la resistencia en serie en el circuito inductor. Y si con esta corriente de intensidad más débil no se obtiene la tensión normal entre los bornes de la máquina, se deberá aumentar la velocidad de rotación de la misma.

Si, por el contrario, se comprueba que sólo algunos carretes se calientan de un modo anormal, esta elevación de temperatura no se puede atribuir sino a que uno o varios carretes están en cortocircuito, de donde resulta una disminución de temperatura del circuito inductor o pri-

mario, y como consecuencia, un aumento de intensidad de la corriente excitatriz. Se busca entonces el carrete o carretes defectuosos y se mide la resistencia de cada uno de ellos, separadamente, mediante un voltímetro y un amperímetro. Si la fuente eléctrica que alimenta los carretes en estos ensayos es la misma, las indicaciones de estos aparatos son sensiblemente iguales para los carretes que no son defectuosos ; se encontrarán fácilmente los carretes defectuosos que están en cortocircuito, comparando las indicaciones del voltímetro, expresadas en U voltios, con las del amperímetro, dadas en I amperios : la relación es la resistencia R de los carretes, expresada en ohmios, y este valor debe ser sensiblemente igual para todos los carretes inductrices. Se tendrá cuidado en estos ensayos de conectar en serie con los carretes un reostato y un voltímetro enlazado a las extremidades del carrete.

CAPITULO VI

CONSTRUCCION DE ALTERNADORES

En principio, un alternador es una dínamo en la que se ha substituído el colector por dos anillos, aislados entre sí, montados sobre el eje o árbol de la máquina a semejanza del colector y sobre cada uno de los cuales se apoya una escobilla. Estas últimas están enlazadas a los bornes de la máquina, mientras que cada anillo está conectado a un extremo del devanado del inducido, estando ambas extremidades diametralmente opuestas. Volviendo al principio de la dínamo, es preciso recordar que se la provee de un colector para obtener una fuerza electromotriz constante, es decir, una corriente continua, lo cual tan sólo es posible recogiendo la corriente del inducido de los dos extremos del devanado que pasan por la línea neutra o, al menos, en la proximidad de la misma ; en cada instante cambian los conductores del inducido respecto a la línea neutra, pero el punto de toma de corriente no cambia. En el alternador, por el contrario, la corriente se toma siempre de dos puntos fijos del devanado ; como la posición de

estos dos puntos cambia a cada instante en el campo magnético, la corriente que se recoge varía : de aquí el nombre de *alterna*. Como en las máquinas, existen en todo alternador un inducido y un inductor. Este crea el campo magnético inductor, indispensable para producir una fuerza electromotriz, mientras que el inducido consiste en un conductor arrollado sobre un cuerpo magnético, el cual aumenta, por su sola presencia, la intensidad del campo magnético.

No insistiremos aquí sobre los diversos tipos de alternadores que existen o que han existido, ni sobre las sucesivas modificaciones aportadas a las disposiciones del inducido y del inductor para llegar al tipo moderno, admitido hoy día como tipo corriente. Diferénciase de la máquina por el hecho de que su inductor constituye el órgano móvil, mientras que el inducido es fijo. Se ve, pues, que basados en el mismo principio, la máquina y el alternador difieren en la aplicación del mismo. Pero hemos de hacer observar que desde el punto de vista eléctrico el fenómeno es idéntico : trátase de un fenómeno de inducción, y ya sabemos que estos fenómenos tienen siempre lugar en un conductor que se encuentra en un campo magnético, con la condición de que este campo sea variable. En la máquina, el campo magnético en la proximidad de los conductores del inducido es variable, puesto que los conductores se mueven en un campo magnético, mientras que en los alternadores de tipo corriente, aquél varía en la proximidad de los con-

ductores del inducido, puesto que los polos inductores, de los cuales emana el campo magnético, se desplazan delante de los conductores.

Como, por otra parte, los extremos del devanado del inducido entre los cuales se recoge la corriente son siempre los mismos (contrariamente a lo que ocurre en la dínamo), es inútil hacer girar el inducido. La ventaja que presenta esta disposición, consistente en la fijeza del devanado inducido, es la siguiente: por razones que expondremos más adelante, conviene y es de gran interés, si se trata de transportar la energía eléctrica a gran distancia, que entre los conductores que transportan aquella energía exista una gran tensión, pero esta tensión, que es aproximadamente igual a la fuerza electromotriz producida por la máquina, no puede alcanzar excesivos valores sin que sea preciso tomar serias precauciones de aislamiento de los conductores del circuito, en particular de los que constituyen el devanado inducido del alternador y que forman parte del circuito, puesto que ellos mismos son la sede de esta fuerza electromotriz. Estos conductores, agrupados en un espacio relativamente restringido de la máquina, están sometidos a tensiones tanto más grandes, cuanto mayor es la tensión que existe en los bornes de la máquina, y como están tan próximos entre sí, es preciso vigilar atentamente su aislamiento.

Ahora bien, es más fácil vigilar el aislamiento de conductores fijos que el de conduc-



tores destinados a ser movidos, que es el caso que se presenta si el inducido es móvil.

Hemos de hacer notar que aún hoy día se encuentran alternadores de inducido móvil, pero únicamente se trata de aparatos de potencia relativamente débil, y cuya tensión no alcanza generalmente valores superiores a los adoptados para la corriente continua. Así observamos que los alternadores adoptados más frecuentemente en las centrales eléctricas son los de inducido fijo.

Partiendo, pues, del principio de que el inductor es móvil y el inducido es fijo, se llama frecuentemente al primero *rotor* (órgano que gira), y al segundo *estator* (órgano fijo).

Inductor (rotor). — La disposición de los inductores móviles no es la misma en todos los tipos de alternadores: depende de la velocidad a la que debe girar el alternador. Se comprende fácilmente que será preciso reducir grandemente el tamaño del rotor cuando éste ha de girar a gran velocidad. Si se comparan, en efecto, dos ruedas de diámetro diferente, que giran a la misma velocidad, es decir, dando el mismo número de vueltas por segundo o por minuto, se comprenderá que se han de tomar más precauciones para evitar los efectos de la fuerza centrífuga sobre la rueda de mayor diámetro que sobre la otra.

Ahora bien, en principio, el inductor móvil de un alternador es una rueda que lleva sobre la llanta los polos inductores propiamente di-

chos (fig. 61); frecuentemente la llanta no existe, y los polos están colocados sobre los extremos del brazo correspondiente al radio de una rueda. En este caso los núcleos inductores alrededor de los cuales están arrollados los carretes

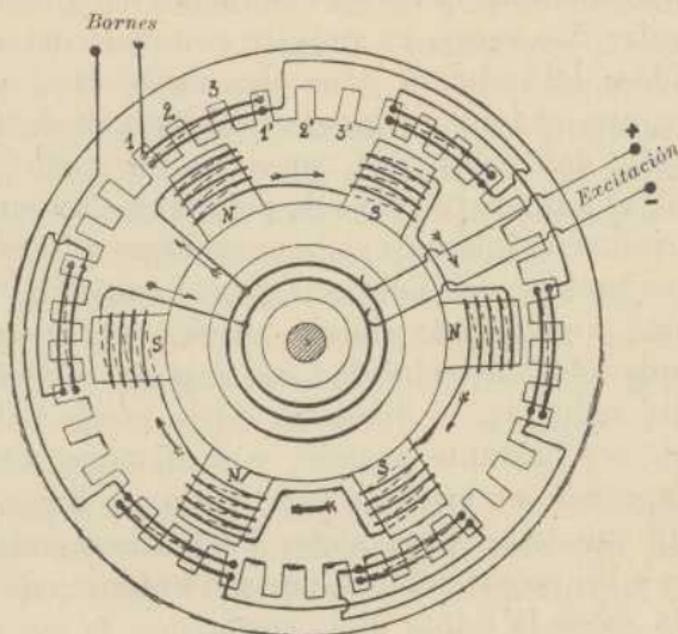


Fig. 61. — Alternador monofásico de seis polos.

inductrices están formados por los radios de la rueda.

Esta última disposición es la que conviene a los alternadores que giran a velocidades no exageradas en un sentido ni en otro y son de potencia media.

Cuando la máquina que hace girar el alternador tiene una velocidad relativamente débil y está acoplada directamente al alternador, se debe

augmentar el número de polos de éste para compensar la reducción de velocidad. Recordemos, para comprender bien esta relación entre el número de polos y la velocidad, que si la máquina tiene cuatro polos en lugar de dos, la fuerza electromotriz inducida en un conductor del inducido sufre dos veces, en un giro completo del inducido o del inductor, todas las variaciones que sufre una vez en un giro, en el caso de haber tan sólo dos polos. Así, pues, de un modo general, el número de pares de polos es p , la fuerza electromotriz inducida es la misma que si la máquina tuviese dos polos, y girase con una velocidad p veces más rápida. Ahora, en el caso considerado, la velocidad se supone relativamente reducida, el diámetro de la rueda polar puede ser bastante grande, y se dispone sobre la superficie exterior de esta rueda un hueco o lugar suficiente para alojar los núcleos inductores y las piezas polares, que son entonces montadas sobre la llanta de la rueda.

Se llega así al alternador tipo *volante* (fig. 62), accionado directamente por la máquina de vapor, o el motor de gas, y cuyo inductor funciona y ocupa el lugar de un volante : en otras palabras, el volante de la máquina lleva en su periferia núcleos inductores y carretes inductrices, repartidos sobre la llanta, y gira en el interior de una corona de acero, fija, que lleva los devanados inducidos. Estos alternadores tienen un gran diámetro y una anchura muy restringida ; sus dimensiones son, pues, con pequeña diferencia,

las que tendría el volante de la misma máquina.

Si en lugar de considerar el caso de alternadores de velocidad reducida se considera el de velocidades muy superiores a las velocidades medias generalmente admitidas, se encuentran alternadores en los que los inductores llevan un pequeño número de polos y cuyo diámetro debe ser muy reducido, mientras que su longitud, por el contrario, está muy aumentada : es decir, todos los caracteres contrarios a los correspondientes a alternadores de marcha lenta.

Los alternadores de grandes velocidades están destinados a ser acoplados a turbinas de vapor, los cuales, para funcionar en las mejores condiciones, han de girar a velocidades muy grandes.

En los alternadores de lenta o mediana marcha las fuerzas polares están, como ya hemos dicho, sobre la periferia de la rueda que constituye el inductor : estos polos llámense polos *salientes o exteriores* (fig. 61), en tanto que en los alternadores de marcha muy rápida, el inductor es comparable absolutamente al inducido de una dínamo, considerados, bien entendido, en su aspecto exterior. De diámetro restringido, es más largo que en los alternadores precedentes, y los devanados inductores no están alojados en la masa que constituye el núcleo inductor.

Las dimensiones de los carretes inductrices y las de los conductores que forman estos carre-

tes son muy variables con la potencia del alternador.

En general, hay un carrete inductriz por polo ; pero en ciertos tipos se dispone un solo

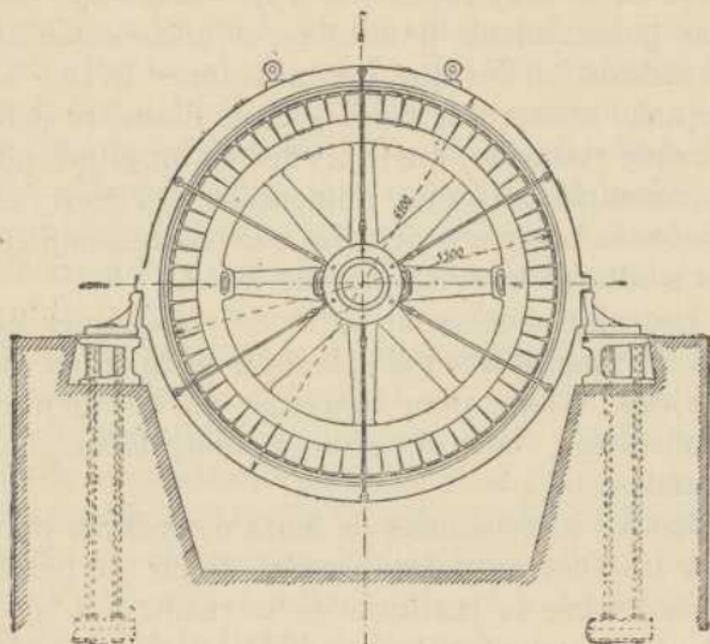


Fig. 62. — Alternador de 230 kilowatios, funcionando al mismo tiempo como volante y girando a la velocidad de 120 revoluciones por minuto.

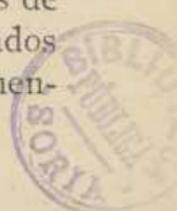
carrete inductriz colocado en una garganta, sobre la periferia de la rueda ; los polos están repartidos a uno y otro lado de la garganta ; existen así, pues, dos hileras de polos. Frecuentemente el carrete inductriz es fijo y únicamente los polos son movibles ; a semejanza de los alternadores precedentes los polos están separados por una garganta encima de la cual

va fijado el carrete inductriz inmóvil. Pero ese tipo de alternador que acabamos de citar está hoy día casi completamente abandonado y se adoptan en general los alternadores de un carrete inductriz por polo.

Si los carretes inductrices son móviles, los extremos de los devanados inductores están unidos cada uno a una lámina o varilla de cobre. Estas dos láminas, colocadas sobre el árbol del alternador y aisladas entre sí, son alimentadas por el generador de electricidad que debe dar corriente continua; pues, como es preciso recordar, el campo magnético que provoca por inducción la fuerza electromotriz en el devanado inducido es idéntico a aquel en que se mueve el inducido en las máquinas; este campo puede ser engendrado por imanes o electroimanes, pero estos últimos son excitados por corriente continua.

Los carretes inductrices están enlazados entre sí, ora en serie (fig. 61), ora en paralelo, o bien en forma mixta, es decir, dispuestos varios en serie, y enlazados estos grupos en derivación o paralelo; el modo como se monten depende en cada caso de la resistencia de estos carretes, de la tensión de la fuente que alimenta el devanado inductor, y de la corriente excitatriz necesaria para asegurar el buen funcionamiento de la máquina.

Es preciso asegurarse de que los extremos de los carretes están convenientemente enlazados entre sí, para que se encuentren alternativamente



te un polo norte y un polo sur, siguiendo así la periferia del inductor. Es preciso, además, para colocar convenientemente los carretes, comprender, desde luego, el modo de acoplar los carretes entre sí, y de este hecho deducir el sentido de la corriente en los dos carretes consecutivos. Se deduce, según la regla de AMPERE, la orientación del polo norte del núcleo que rodea el carrete considerado. Esta observación interesa al electricista, que en una central eléctrica ha debido desmontar un carrete inductriz para rehacer el devanado, por ejemplo, y que se propone volverlo a colocar en su lugar sin recurrir para nada al constructor de la máquina.

Inducido (estator). — El inducido está constituido por un conjunto de láminas de acero en forma de corona, en cuyo interior gira el inductor. Estas láminas están comprimidas entre un bastidor de fundición y un anillo plano.

Como en el inducido de las máquinas, las láminas están provistas de ranuras y de dientes; pero en los alternadores estos dientes están colocados en la parte interna de la corona, mientras que en las máquinas se hallan colocados en la parte externa. En estas ranuras van alojados los conductores del devanado del inducido. Tal es la disposición de los inducidos de la mayor parte de los alternadores que se construyen hoy día, y cuyo inductor está formado por una sola línea de polos. En los alternadores, que se encuentran mucho menos frecuentemente, en los

que los inductores están constituidos por dos líneas de polos con un solo carrete inductriz, fijo o móvil, hay dos devanados inducidos distintos, correspondiendo cada devanado a una línea o serie de polos, estando enlazados estos dos devanados en serie o paralelo. Volvamos al tipo corriente de alternadores: el devanado del inducido presenta mucha analogía con los del inducido de una dínamo, con la diferencia de que los conductores están montados sobre la superficie interior de la corona y no sobre la superficie externa. Están alojados en ranuras de que están provistas las láminas, paralelamente al eje del alternador y están unidos entre sí por conexiones que se ven dibujadas en la parte lateral de la corona en la figura 61. Por regla general los carretes se montan separadamente y luego se fijan sobre el inducido.

Se llama *carrete* al conjunto de dos grupos de conductores colocados en una misma ranura, o en ranuras próximas, y enlazados entre sí en serie: el carrete comprende las conexiones entre estos dos grupos de conductores y tiene dos extremos libres, los cuales se conectan a su vez, respectivamente, con los carretes idénticos que le siguen y le preceden. La figura 63 representa las formas de las conexiones entre los dos conductores de un mismo carrete.

El devanado así compuesto de conductores repartidos de una manera regular y simétrica sobre toda la superficie interior de la corona del estator y montado en serie entre ellos tiene dos

extremos libres que están enlazados a los bornes de la máquina, y la corriente que se recoge es una corriente alterna denominada simple o *monofásica*.

Si en lugar de un solo devanado se suponen

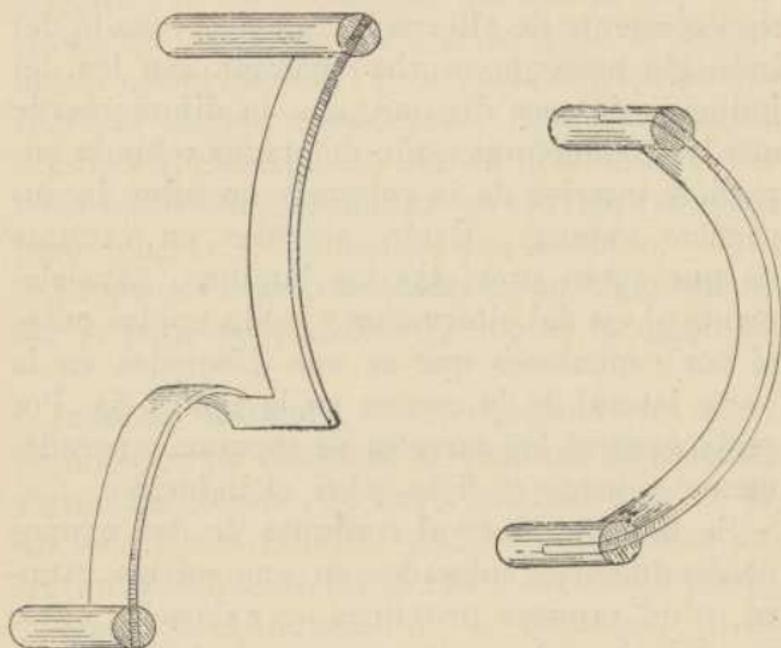


Fig. 63. — Conexiones entre conductores de un mismo carrete.

muchos devanados idénticos al primero, pero independientes los unos de los otros, cada uno de ellos da a sus bornes una corriente alterna que, considerada aisladamente, es monofásica. Pero el interés que ofrecen estas corrientes monofásicas reside en el hecho de que ellas pueden ser fácil y convenientemente combinadas, llegando así a formarse las corrientes *difásicas* o

trifásicas y de una manera general *polifásicas*. La corriente de un alternador es difásica o bifásica, si el alternador posee dos devanados distintos; estos dos devanados han de estar montados sobre el mismo estator; los conductores que los constituyen están convenientemente repartidos en las ranuras que están destinadas a recibirlos en las láminas del inducido, y los extremos libres están en tal forma dispuestos, que la fuerza electromotriz alcanza su valor máximo en el instante en que es nula en los bornes del segundo devanado y que dicha fuerza electromotriz sea nula en el primer devanado, cuando alcanza en el segundo su máximo valor, es decir, de una manera general, que haya una diferencia constante de tiempo entre las variaciones de las fuerzas electromotrices recogidas en los bornes de cada uno de los dos devanados. Esta diferencia corresponde (véase cap. III, párrafo 5) a la duración de un cuarto de período; ello ocurre por el hecho de que los extremos libres de los devanados no están en la misma posición, con respecto a los polos inductores. Para comprenderlo basta volver a recordar el inducido de la dínamo bipolar, suprimir el colector y suponer que sobre el inducido hay dos devanados distintos: si se recoge la fuerza electromotriz entre dos puntos diametralmente opuestos y móviles con el inducido sobre cada uno de los dos devanados, el valor de esta fuerza electromotriz depende en cada instante de la posición de los dos extremos donde ella



es recogida, en el campo magnético ; si los dos puntos diametralmente opuestos en cada devanado son sobre dos diámetros perpendiculares, se tiene entonces un retardo de una fuerza electromotriz sobre la otra. Invitamos al lector a estudiar más atentamente esta cuestión : es fácil suponer en seguida los inductores móviles y el inducido fijo : la variación del campo para una espira del inducido sigue la misma ley, en fin, si en lugar de dos polos hay $2p$ polos ; lo que acabamos de ver para un giro completo del inducido es verdadero para fracciones iguales a $\frac{1}{p}$ de giro ($1/2$ giro para una máquina tetrapolar, $1/3$ de giro para una máquina exapolar, etc.).

El alternador de corriente difásica tiene, pues, cuatro bornes de los cuales parten dos circuitos distintos, recorridos cada uno por una corriente monofásica (fig. 64) ; ahora bien, estas corrientes monofásicas pueden ser convenientemente combinadas en determinados aparatos, especialmente en los motores, y dar lugar a fenómenos especiales, los *campos giratorios*, de los que se saca partido y que hacen que se prefieran las corrientes polifásicas a las monofásicas.

Lo que acabamos de decir respecto a los alternadores difásicos es aplicable a los trifásicos, más frecuentemente empleados que los primeros. En estas máquinas hay tres devanados en lugar de dos, todos semejantes entre sí. Los extremos entre los cuales se recoge la corriente

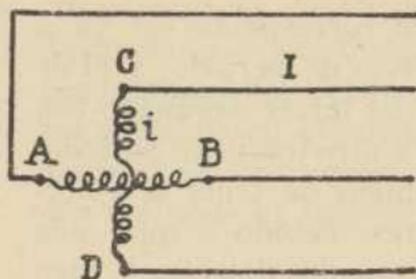


Fig. 64 A. — Corrientes difásicas: dos carretes, cuatro hilos.

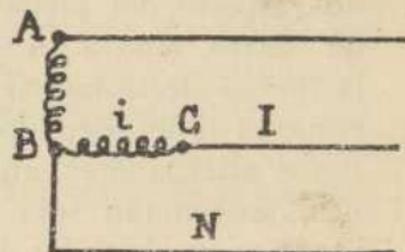


Fig. 64 B. — Corrientes difásicas: dos carretes en V, tres hilos.

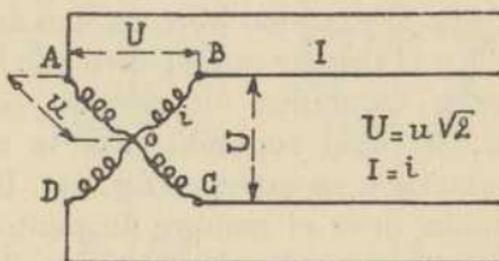


Fig. 64 C. — Corrientes difásicas: cuatro carretes dispuestos en estrella, cuatro hilos.

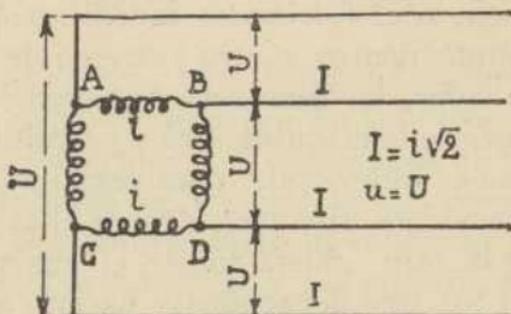


Fig. 64 D. — Corrientes difásicas: cuatro carretes dispuestos en cuadro, cuatro hilos.

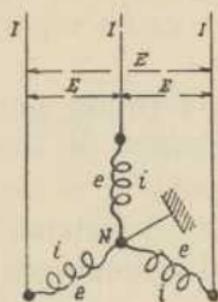
están distanciados entre sí de tal manera, que el retardo de la fuerza electromotriz del segun-

do respecto del primero corresponde no ya a un cuarto, sino a un tercio de período, y el de la fuerza electromotriz del tercer devanado con respecto al del segundo, a otro tercio de período. Estos alternadores, en lugar de tener seis bornes, poseen tan sólo tres, debido a que cada borne es común a dos devanados distintos o bien que los tres devanados tienen un extremo común y que, lo más frecuente, no es visible : los tres bornes de la máquina corresponden entonces cada uno al extremo libre de uno de los devanados. En el primer caso se dice que los devanados están montados *en circuito cerrado o triángulo*, y en el segundo caso lo están *en circuito abierto o en estrella* (fig. 65). El cuarto borne común lleva el nombre de punto neutro.

Notemos que en el enlace en estrella, la diferencia de potencial entre dos bornes resulta de fuerzas electromotrices en dos devanados : ahora bien, si el *voltímetro* indica e voltios entre el punto neutro y otro extremo de uno de los devanados, la diferencia de potencial entre dos bornes de la máquina será $\sqrt{3.e}$ voltios. Esta propiedad es interesante, pues permite disponer de dos tensiones distintas, una de ellas casi doble que la otra : basta tomar el cuarto borne común a los tres devanados y hacerlo accesible mediante un conductor.

En lo que concierne a la disposición de estos devanados sobre el inducido, es preciso, para que la simetría sea perfecta, que si se recorre el inducido en toda su extensión, se encuentren

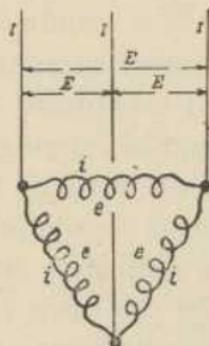
sucesivamente conductores del devanado 1, del devanado 2 y del devanado 3, y de nuevo los conductores del devanado 1, etc., continuando así siempre en el mismo orden (fig. 66): los carretes de cada devanado están, pues, colocados los unos al lado de los otros. Suponiendo,



$$E = 1,73 e$$

$$I = i$$

Fig. 65 A.—Aco-
plamiento en
estrella.



$$E = e$$

$$I = 1,73 i$$

Fig. 65 B.—Aco-
plamiento en
triángulo.

por ejemplo, que bajo el espacio ocupado por un polo inductor hubiesen los seis lados de seis carretes diferentes, se encontrará el conjunto de conductores de un carrete del devanado 1, después el mismo número de conductores de un carrete del devanado 2, y así sucesivamente.

Gracias a esta disposición, el retardo en las variaciones de las fuerzas electromotrices de cada devanado, las unas con respecto a las otras, se produce en cada conductor del devanado.

Se comprende, en efecto, que los conductores del devanado 1 están bajo el influjo máximo, un instante antes que los del devanado 2, y los del devanado 2 están igualmente en esta misma posición relativamente con respecto a los conductores del devanado 3, el mismo instante que antes estos últimos, y así sucesivamente. Basta que los conductores estén repartidos regular y simétricamente.

Es fácil establecer una fórmula general que dé la relación entre el número de ranuras del inducido, el número de polos y el de devanados distintos: en efecto, si el sistema de devanado está definido por el número de ranuras por polo y por *fase* (que así se llama cada devanado distinto), se encuentra el número de ranuras del inducido, multiplicando aquel número por el número de polos y de fases. Si A es este número, $2p$ el número de polos, n el número de fases ($n=2$, para las corrientes difásicas, $n=3$ para las trifásicas) y x el número de ranuras por polo y por fase, se tiene

$$A = 2pnx$$

De esta fórmula se deduce fácilmente el valor de x :

$$x = \frac{A}{2pn},$$

valor que el electricista encargado de devanar un alternador ha de conocer. Este número le indica, en efecto, cómo debe repartir los con-

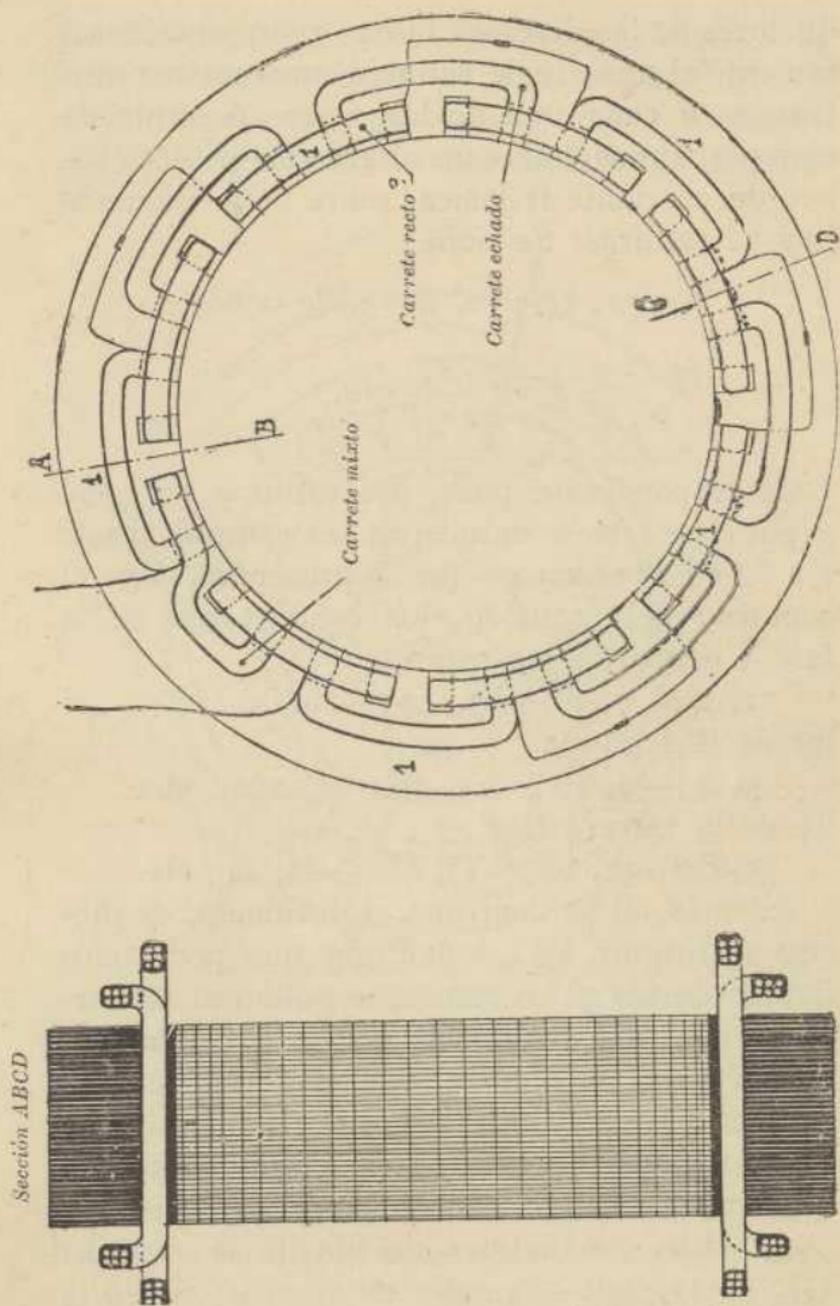


Fig. 66. — Inducido de alternador trifásico
(los enlaces entre los carretes se han representado tan sólo por una fase)

ductores de las diversas fases : representa exactamente el número de ranuras consecutivas destinadas a cada una de las fases. A título de ejemplo, supongamos un alternador de doce polos, de corriente trifásica, sobre cuyo inducido hay 72 ranuras. Se tiene :

$A=72, 2p=12, n=3$, de donde

$$x = \frac{72}{12 \times 3} = 2.$$

Corresponderán, pues, dos ranuras por polo y por fase : si se enumeran las ranuras desde 1 a 72 en el orden en que se presentan sobre el contorno del inducido, los conductores de la fase I ocuparán las ranuras :

1, 2 ; —7, 8 ; —13, 14 ; —19, 20 ; etc.

los de la segunda :

3, 4 ; —9, 10 ; —15, 16 ; —21, 22 ; etc.

los de la tercera fase :

5, 6 ; —11, 12 ; —17, 18 ; —23, 24 ; etc.

Además, si se continúa el devanado, es preciso distinguir los conductores que podríamos llamar de ida y los otros que pudieran llamarse de retorno ; siendo los de ida aquellos, por ejemplo, que se han de recorrer de izquierda a derecha paralelamente al eje de la máquina, y los de retorno, los que van en sentido contrario. Se tendría entonces, en el ejemplo anterior :

1.º Los conductores de ida de la fase I :

1, 2 ; —13, 14 ; —25, 26 ; etc.

2.º Los conductores de retorno para la mis-

ma fase : 7, 8 ;—19, 20 ;—31, 32 ; etc. ; y de la misma manera para las demás fases (fig. 67).

Recomendamos, por consiguiente, al electricista encargado de la reparación de un alterna-

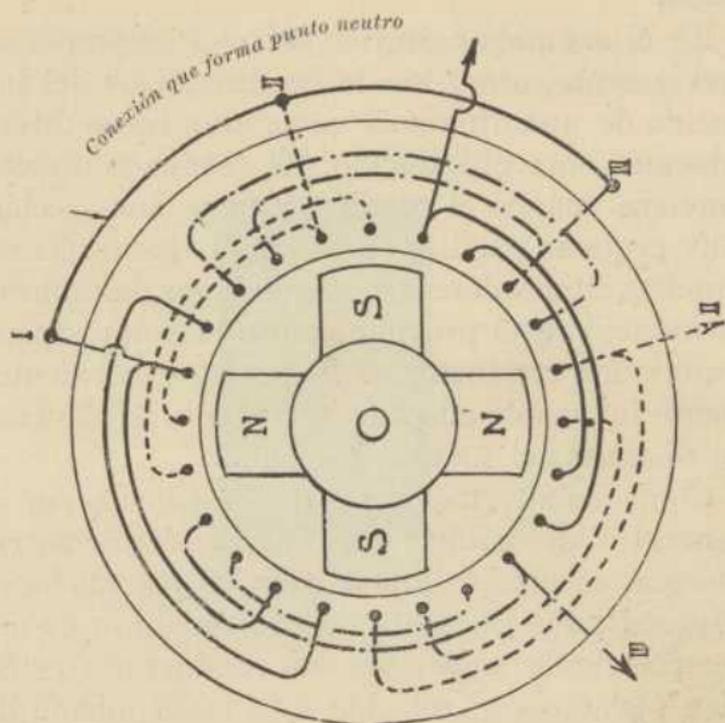


Fig. 67. — Alternador trifásico con dos muescas por polo y fase.

Características: Devanado en carretes. — Dos muescas o ranuras por polo y fase. — Las uniones entre carretes de una misma fase no están representadas, para simplificar la figura. — Montaje en estrella, con punto neutro, obtenido enlazando entre sí los extremos colocados de modo semejante de tres carretes.

dor, de cuya vigilancia se preocupa, anotar el número de ranuras consecutivas que están destinadas a la misma fase ; esta cifra sola le permitirá reconstruir el devanado, según las indicaciones que preceden.

Para hacer el devanado de los conductors, se procede ora por devanado directo, o bien, si el conductor tiene dimensiones que le hacen poco manejable, por devanado sobre un patrón apropiado.

En el segundo caso, los carretes se preparan previamente, como los de los devanados del inducido de una dínamo y se montan luego directamente sobre el inducido. El devanado directo conviene cuando el conductor tiene una sección muy pequeña ; se lleva a cabo con frecuencia en aquellos alternadores en que en lugar de ranuras su inducido está provisto de orificios aptos para recibir los conductores. Entonces es evidentemente imposible adoptar otro medio de devanado distinto del método directo.

Como los alternadores están destinados por lo general a desarrollar una fuerza electromotriz elevada, es preciso tomar grandes precauciones desde el punto de vista del aislamiento : es necesario, desde luego, que los conductores estén bien aislados con relación a la masa misma de la máquina y que estén bien aislados entre sí. Es preciso, pues, proveer de paredes aislantes a los orificios y ranuras destinados a recibir los conductores (fig. 68) : el aislante adoptado para separar los conductores de la masa de la máquina es la micanita, o bien el cartón impregnado de un barniz aislante, o bien la fibra. Los conductores, por lo general, están recubiertos de dos capas aislantes de algodón y una de cáñamo.

En los alternadores de alta tensión, los bornes de la máquina son igualmente objeto de cuidados especiales desde el punto de vista de su aislamiento.

Excitatriz. — Hace falta, según hemos dicho, que el devanado inductor sea alimentado por una

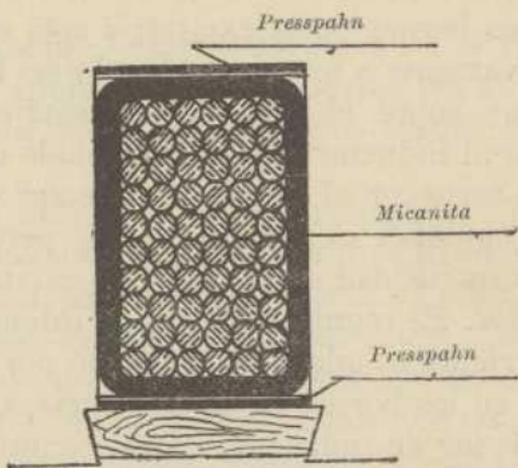


Fig. 68. — Ejemplo de aislamiento de los conductores en una entalladura.

fuente o generador de corriente continua, para crear un campo magnético idéntico al de la dínamo. No se puede, pues, alimentar el circuito inductor, mediante la corriente producida por el inducido, como ocurría en las generatrices de corriente continua antes estudiadas; así, pues, es preciso proveerse de un generador de corriente continua, si no se tiene ya esta corriente. Esta fuente o generador de corriente continua, lo constituye frecuentemente una pequeña dína-



mo que recibe el nombre de *excitatriz* y cuyas dimensiones son muy reducidas con relación a las del alternador mismo, si es que su único objeto es asegurar la alimentación del circuito inductor del alternador. Este generador puede montarse fácilmente en el extremo del eje de aquél, estando así íntimamente ligado su funcionamiento al del alternador mismo. Cada uno de los dos bornes de la excitatriz está enlazado respectivamente a una de las escobillas fijas que descansan sobre el anillo correspondiente que alimenta al inductor ; se tiene cuidado de intercalar en serie con el devanado inductor un reostato o regulador de inducción que permita regular la intensidad de la corriente excitatriz del alternador. El regulamiento de la intensidad de esta corriente es además asegurado por el de la tensión en los bornes de la excitatriz, mediante el regulador de inducción de la excitatriz misma, la cual está excitada en derivación o shunt.

CAPITULO VII

FUNCIONAMIENTO DE LOS ALTERNADORES

Velocidad. — La corriente alterna producida por un alternador se caracteriza por su frecuencia y por la tensión entre los bornes de la máquina.

Si el alternador es de corriente trifásica, hay, según hemos visto ya, tres o cuatro bornes, correspondiendo el cuarto borne *al punto neutro*, en el caso que los devanados estén enlazados en estrella. Si sólo hay tres bornes, no es preciso conocer la manera cómo están montadas las fases : entre cada dos bornes se obtendrá la misma tensión. En el caso de haber cuatro bornes, la tensión que se obtiene tomando el borne neutro y uno cualquiera de los restantes es menor que la que se obtendría tomando dos bornes cualesquiera, con exclusión del borne neutro. Si e representa la diferencia de potencial entre el borne neutro y otro cualquiera de los otros tres, y E representa la que existe entre este último borne y otro de los dos restantes bornes, se debe tener :

$$E = \sqrt{3} \cdot e.$$

La primera, e , es la tensión sencilla, y la otra, E , es la tensión compuesta. Es preciso

asegurarse de que el valor de E es la tensión constante para todos los bornes tomados de dos en dos (salvo la que existe, tomando el punto neutro).

En los alternadores difásicos existen generalmente cuatro bornes, correspondiendo dos de ellos a un devanado y los otros dos al segundo devanado. Es preciso que las tensiones en los extremos de cada devanado sean las mismas. Conviene, pues, comprobar este extremo.

La frecuencia de las corrientes polifásicas es necesariamente la misma para todas las corrientes producidas por un alternador. Ahora bien, esta frecuencia, así como las tensiones entre los bornes o hilos de línea que parten de estos bornes, deben quedar constantes. Estas magnitudes dependen directamente de la velocidad de rotación del alternador, la cual no debe variar. En efecto, los aparatos conectados a la red están dispuestos para funcionar con corrientes de frecuencia y tensión determinada: si ambas, o una de ellas, difieren de su valor normal, se modificarán las condiciones de funcionamiento de estos aparatos. Por otra parte, como veremos más adelante, los alternadores pueden acoplarse en paralelo, y para ello es preciso que funcionen a una tensión y frecuencia constantes. Así, pues, tiene una importancia grande la velocidad a que los alternadores funcionan, y debemos llamar la atención del electricista encargado de la vigilancia de un alternador, sobre la necesidad de que esta velocidad se mantenga constante.

Esta cuestión tiene una tan gran importancia, que los constructores de máquinas motrices destinadas a hacer funcionar alternadores procuran proveer a estas máquinas de reguladores de velocidad, de acción muy rápida y segura. Se comprende, vista la importancia que tiene mantener constante la velocidad, la razón por la que será imprudente adoptar la correa como medio de transmisión de la fuerza de la máquina motriz al alternador: la correa está sometida a resbalamiento. Ahora bien, supuesto que éste no existiese, el número de revoluciones del alternador es al de la máquina motriz como el diámetro de la polea de esta última es al de la polea del alternador; es decir, lo que se pierde en longitud, contada sobre la periferia de la polea del alternador (que ha de ser más pequeña que la de la máquina), se gana en el número de revoluciones. Pero a causa del resbalamiento de la correa, la velocidad del alternador no alcanza el valor que le correspondería por aquella proporción; y la diferencia entre la velocidad teórica, sin resbalamiento, y la velocidad real es tanto mayor, cuanto más grande es la potencia transmitida, aumentando el resbalamiento con la carga. Ahora bien, esta variación de la velocidad del alternador, con la variación de la carga, es justamente lo que se ha de evitar; como el resbalamiento de una correa no se puede regular de una manera inmediata, se debe renunciar a este sistema de transmisión y acudir al acoplamiento directo.

Hemos de hacer observar que lo dicho anteriormente se refiere sólo a los alternadores que han de acoplarse a otros alternadores, que es el caso general que se presenta en las centrales eléctricas.

Si, por el contrario, se trata de un solo alternador que alimente una red de poca importancia o un taller, los inconvenientes resultantes de pequeñas variaciones de velocidad son, en general, mucho menos graves, puesto que únicamente se dejan sentir sobre los motores de la red, y se puede adoptar en rigor la transmisión por correa, aun con riesgo de tener corrientes cuya frecuencia varíe un poco.

Regulamiento de la tensión. — Mientras que la frecuencia de las corrientes alternas no se puede regular de otro modo que actuando sobre la velocidad del alternador, la tensión, ligada igualmente a la velocidad de rotación de la máquina, depende, como en las dinamos, del flujo inductor, y se puede hacer variar modificando la corriente excitatriz. Se tiene cuidado, como ya hemos dicho, de montar en serie, en el circuito de excitación, un regulador de inducción. Recordemos que para los alternadores de potencia elevada, la intensidad de la corriente inductriz es más elevada y los reguladores de inducción que deben soportar esta corriente son aparatos grandes. Si la alimentación de cada alternador en una central eléctrica está asegurada por la excitatriz del alternador mismo, se regula la

tensión en los bornes del alternador regulando la de la excitatriz mediante un regulador de inducción de menor tamaño que el del alternador ; este último entonces no es indispensable.

Como en las máquinas, todo aumento de la carga del alternador da lugar a una disminución de la diferencia de potencial entre los bornes. Esta disminución es debida a una caída de tensión en el alternador, la cual es tanto más grande, cuanto mayor es la intensidad de la corriente. Este fenómeno presenta una gran analogía con el que se observa en las máquinas, pero aquí el fenómeno es más complicado, pues la corriente engendrada por el alternador es alterna, razón por la que la autoinducción del circuito alcanza una determinada importancia : también la solución del problema de la compensación de esta caída de tensión es menos sencilla que en el caso de ser la corriente continua. Ya hemos visto, en efecto, que un devanado inductor en serie con el inducido, con lo cual la acción magnética se suma con la del devanado shunt, basta en la mayor parte de los casos para asegurar en los bornes una tensión sensiblemente constante : de esta manera se obtiene la máquina en compound.

En el alternador se ha resuelto el problema igualmente, actuando sobre su excitatriz. Hay una diferencia esencial, en efecto, entre la máquina y el alternador, desde el punto de vista de su excitación : en la máquina la excitación depende directamente de lo que

ocurre con el inducido, puesto que la dínamo se excita a sí misma ; un alternador, por el contrario, no puede excitarse a sí mismo, puesto que la corriente excitatriz ha de ser continua y no alterna. Así, pues, en un alternador, los circuitos del inducido y del inductor son completamente independientes desde el punto de vista eléctrico : es preciso, pues, establecer entre ellos un enlace para que la variación de la intensidad de la corriente en el inducido dé lugar a una variación en el mismo. Tal es el problema de la excitación en forma compound o mixta en los alternadores ; los medios propuestos para establecer este enlace consisten en hacer actuar la corriente inducida del alternador sobre la máquina excitatriz. Pero no existe aún una solución a este problema que esté admitida de una manera general, razón por la cual no creemos útil insistir aquí sobre una cuestión que aún se ha de estudiar por la mayor parte de los constructores de alternadores.

Frecuentemente se regula la tensión mediante un aparato automático, llamado generalmente regulador automático de tensión, el cual aumenta o disminuye automáticamente el número de resistencias en serie entre el circuito de excitación y el alternador. El manejo del volante mediante el cual se desplaza el conmutador que hace entrar resistencias en el circuito, se suprime, y en lugar de manejarlo a mano, se asegura su funcionamiento con un servomotor de pequeñas dimensiones, o un sistema de *relevadores*, que

debe ser sensible a las variaciones de la tensión. Es preciso que el funcionamiento mecánico sea rápido y seguro, para que sea eficaz: importa sobremanera que el regulamiento sea rápido, pudiendo añadir que los constructores han llegado a vencer estas dificultades y poner en el comercio aparatos que llenan las condiciones de seguridad y rapidez en el regulamiento. Pero a pesar de todos los cuidados puestos en evitar un entorpecimiento en su funcionamiento, estos aparatos deben ser muy vigilados cuando están en servicio.

Acoplamiento o enlace de los alternadores.—Los alternadores, como las máquinas, pueden estar acoplados entre ellos; el único sistema empleado es el acoplamiento en paralelo. En efecto, ningún interés presenta el acoplamiento en serie de dos alternadores: para comprenderlo, basta considerar que el enlace en serie de dos generadores de electricidad sólo se lleva a cabo cuando se quiere obtener una tensión en el conjunto superior a la que tiene cada uno de ellos. Ahora bien, en las corrientes alternas se obtienen fácilmente tensiones elevadas en los bornes de un alternador, y si se quiere elevar ésta, se dispone, como veremos, de aparatos especiales llamados transformadores elevadores de tensión, y cuyo funcionamiento exige menos vigilancia que el de los alternadores. Así, pues, sólo estudiaremos el acoplamiento o enlace de los alternadores en *paralelo*. Como en el acoplamiento



de varias máquinas en paralelo, es preciso que el alternador que se haya de acoplar tenga una tensión en sus bornes igual a la que tienen aquellos que ya se hallan en servicio; por consiguiente, no se cerrará el interruptor que enlaza los bornes del alternador a las líneas de la red sino cuando el voltímetro señale el mismo potencial que el del alternador en servicio con el que haya de enlazarse. Pero es preciso tomar aquí una precaución, innecesaria en el caso de la corriente continua. Recordemos que, por su origen mismo, la corriente alterna cambia tantas veces de sentido por segundo como indica la frecuencia que la caracteriza. Si se considera un borne del alternador que se haya de acoplar, puede ser que este borne sea el positivo en un instante dado, y este mismo borne será en seguida el negativo y así sucesivamente; lo mismo ocurre con las líneas de la red, las cuales tan pronto son positivas como negativas y viceversa. Ahora bien, en el enlace en paralelo se debe enlazar a la línea positiva el borne positivo del alternador, y a la línea negativa el borne negativo; así, es preciso asegurarse:

1.º Que en el momento del acoplamiento, el sentido de la corriente de la máquina corresponde exactamente al de la línea con la que se trata de enlazar;

2.º Que el sentido de la corriente cambia en el alternador al mismo tiempo que en el otro alternador o alternadores en servicio.

Se dice, cuando se cumple esta última con-

dición, que el alternador funciona *sincrónicamente* con aquel o con aquellos a los cuales se enlaza; y se obtiene el sincronismo cuando la frecuencia de las corrientes en el alternador que se trata de enlazar y en la línea es la misma. Para obtener el sincronismo del alternador basta regular su velocidad de rotación.

No obstante, el alternador puede funcionar *sincrónicamente* sin que se satisfaga la primera condición; es preciso que este alternador esté en *concordancia de fase* con aquel o aquellos que están en servicio; se llama así cuando son simultáneas las variaciones de las fuerzas electromotrices del alternador que se ha de enlazar y de aquel o aquellos que están en servicio.

Hemos de observar que la concordancia de fase implica necesariamente la existencia del sincronismo.

Para mejor comprender lo que se entiende por sincronismo y concordancia de fase, se pueden comparar las variaciones de las fuerzas electromotrices alternativas al movimiento de balanceo de un péndulo, o sea el movimiento llamado oscilatorio. Si se observa un punto cualquiera del péndulo, se verá que describe un arco de círculo (fig. 69), dividido en dos partes sensiblemente iguales por la vertical que pasa por el punto de suspensión del péndulo; en otras palabras, el punto en cuestión se desvía alternativamente a la derecha y a la izquierda de esta vertical, a distancias iguales. Supongamos ahora dos péndulos suspendidos

del mismo eje y animados ambos de un movimiento oscilatorio. Sus movimientos son sincrónicos, cuando los dos péndulos tardan el mismo tiempo en pasar de una posición — de la vertical, para fijar una idea — hasta otra posición, por ejemplo, hasta el punto de su máxima separación o alejamiento. Ambos están *en*

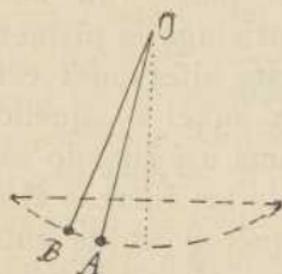


Fig. 69. — Dos péndulos
O A y O B oscilan alrededor del punto O.

fase si pasan sobre la vertical al mismo tiempo y alcanzan la posición de máxima distancia, por ejemplo, la de la derecha de la vertical, en el mismo instante: en este caso se confunden ambos movimientos. Ahora bien, cada péndulo representa uno de los alternadores;

uno, el alternador o alternadores que están en servicio; y el segundo, el alternador que se ha de acoplar; más exactamente aún, los movimientos de estos péndulos son la imagen de las variaciones de las fuerzas electromotrices de estos alternadores.

Es preciso, en todo momento, poder darse cuenta de la concordancia de fases del alternador a acoplar con el alternador o alternadores en servicio. Basta, para esto, intercalar, entre el borne del alternador que se trata de acoplar y la línea con la que se enlaza, una lámpara o un voltímetro (fig. 70). En tanto que el alternador no está en concordancia de fase, hay o

existe, en cada instante, una diferencia de potencial entre los dos bornes del aparato; esta diferencia de potencial llega a hacerse nula y permanece así, desde que se restablece esta concordancia. Si tomamos la imagen de los dos péndulos, en tanto que la concordancia en sus

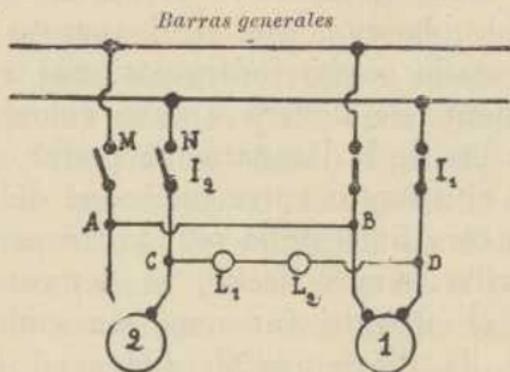


Fig. 70. — Lámparas de acoplamiento.

movimientos no sea exacta, distinguiremos perfectamente sus movimientos respectivos; pero ambos se confunden cuando concuerdan en fase y se mueven sincrónicamente. El voltímetro sufre entonces una desviación o bien la lámpara se enciende, en tanto que el alternador no está en concordancia de fase; por el contrario, cuando ésta se establece, los aparatos indicadores no acusan existencia de corriente alguna. En este momento es cuando se debe efectuar el acoplamiento, después de asegurarse de que la diferencia de potencial entre los bornes es la misma que la que hay en la línea.

Resumiendo; a la maniobra u operación de



regular la tensión en los bornes del alternador, idéntica a la que se lleva a cabo cuando se trata de acoplar en paralelo dos dínamos, se añade la operación de regular la velocidad para lograr el sincronismo y la concordancia de fase, observables mediante un aparato llamado aparato de fases (lámpara o voltímetro de fase). Hemos de observar que si el aparato de fases está montado según indicamos más arriba, el acoplamiento se llevará a cabo cuando se extinga la luz de la lámpara. Se podrá, pues, intercalar el aparato entre un borne del alternador y la otra línea de la red, y razonando como más arriba hemos hecho, se demostrará que cuando el aparato funciona sin concordancia de fase, la diferencia de potencial entre los bornes del aparato, en lugar de ser nula, conserva su mayor valor, es decir, el acoplamiento se realizará cuando se encienda la lámpara. Por último, se reemplazan frecuentemente el voltímetro y las lámparas de fases por unos aparatos denominados *sincronoscopios*, los cuales presentan, respecto a los anteriores, la ventaja de indicar si la máquina que se ha de acoplar gira excesivamente deprisa o demasiado lentamente, mediante una aguja, que se desvía hacia la izquierda o la derecha de su posición de equilibrio: esta aguja permanece fija en esta posición cuando la concordancia de fase tiene lugar.

Una vez acoplado el alternador, es preciso asegurarse de que éste contribuye adecuada-

mente a la alimentación de la red. Como en el caso de las máquinas, llegaremos a comprobar este extremo observando los amperímetros; sobre el circuito de cada alternador está enlazado un amperímetro que indica la intensidad de la corriente producida por la máquina correspondiente.

Si los alternadores acoplados son idénticos, las intensidades de las corrientes deben ser sensiblemente las mismas para cada máquina; y sino, las intensidades deben repartirse en la relación de las potencias de los alternadores. Puede ocurrir que la velocidad de uno de los alternadores tienda a apartarse de la velocidad llamada de sincronismo: una de las máquinas, la que gira más lentamente, funciona entonces como motor, y vuelve a tomar la velocidad de sincronismo; pero puede, no obstante, continuar funcionando como motor alimentado por los otros alternadores. Nos daremos cuenta de esta anomalía, no por la inversión del sentido en que se desvía la aguja del amperímetro, puesto que la corriente alterna no tiene sentido constante, sino mediante la disminución de la intensidad de la corriente en esta máquina, mientras que la intensidad de la corriente aumenta en el otro u otros alternadores. Es preciso entonces aumentar un poco la velocidad de la máquina que produce la corriente más débil, para llevarla así a la velocidad de sincronismo.

Se puede ver aquí, en esta cuestión del aco-

plamiento de los alternadores, la importancia de una velocidad constante y fácilmente regulable; y se comprende que todos los esfuerzos de los constructores de máquinas motrices destinadas a ser acopladas a alternadores se hayan concentrado en proveer a estas máquinas de un regulador rápido de velocidad.

En efecto, cuando en la red tiene lugar una variación brusca de carga, la velocidad del alternador tiende a separarse de la velocidad normal, ya sea disminuyendo ésta cuando se aumenta la carga, enlazando, por ejemplo, y poniendo en marcha un motor importante, ya sea que aumente, como ocurre cuando bruscamente se reduce la carga cortando un circuito, sobre la red. Es preciso que los reguladores de velocidad de las máquinas motrices acopladas a los alternadores sean sensibles, todos por igual, a estas variaciones de la carga, y, además, que su acción sea casi instantánea.

Todo cuanto acabamos de exponer sobre el acoplamiento de los alternadores se aplica tanto a los alternadores de corrientes polifásicas, como a los de corriente monofásica. Evidentemente, conviene que todos los alternadores que se hayan de acoplar tengan el mismo número de fases: y, cuando se trate de corrientes polifásicas, se debe suponer que los devanados de las diversas fases del mismo alternador son exactamente iguales, es decir, que la fuerza electromotriz de una fase ha de ser igual a la de las demás; se comprobará este aserto po-

niendo en marcha el alternador y comparando las indicaciones del voltímetro enlazado sucesivamente a los extremos de las diversas fases de la máquina.

Defectos en el funcionamiento de los alternadores. — Los alternadores son, casi siempre, máquinas más robustas que las máquinas dinamos: en efecto, ya hemos visto que el órgano más delicado de estas últimas es el colector, del cual carecen los alternadores. Así pues, todos los defectos de funcionamiento de las máquinas de corriente continua, que radican en el colector, no aparecen en los alternadores.

Pero en el caso de las corrientes alternas se encuentra alguna dificultad para el aislamiento de los devanados destinados a producir fuerza electromotriz elevada, y como acabamos de ver, para la marcha y enlace en paralelo de muchos alternadores.

Vamos de momento a estudiar algunos de los defectos que se pueden encontrar en el funcionamiento de los alternadores y a indicar los métodos que se han de emplear para buscar las causas de los mismos y la manera de remediarlos eventualmente.

1.º *No hay tensión alguna en los bornes del alternador.* — Hay que considerar dos casos: el alternador es de corriente monofásica, o es de corriente polifásica.

Supongamos primeramente que el alternador es de corriente monofásica. Se comprueba que

la tensión de la corriente continua en los bornes del circuito inductor del alternador no es nula. Si lo fuese, el defecto provendría de la excitatriz o de que tal vez se hubiese roto uno de los conductores que enlazan la máquina excitatriz y los bornes del circuito inductor del alternador. El primer caso se comprueba observando si la tensión entre los bornes de la excitatriz es también nula, y entonces se busca la causa, según hemos dejado indicado en el capítulo de las máquinas. Si el defecto no es imputable a la excitatriz, sino a la línea, se comprobarán y examinarán ésta, los conductores y, en particular, el regulador de inducción montado en serie en el circuito.

Si la tensión no es nula en los bornes del circuito inductor, se puede comprobar, mediante un amperímetro intercalado sobre el circuito, si la corriente que lo recorre tiene una intensidad normal, es demasiado elevada o es nula. En el primer caso el defecto es debido al devanado del inducido.

Si la intensidad de la corriente de excitación alcanza un valor exagerado, esto es, producido por un cortocircuito en un carrete inductriz, y si no existe corriente de excitación, es debido a que algún conductor del devanado inducido está roto. La busca del carrete defectuoso se lleva a cabo, como en el caso de una máquina, poniendo sucesivamente en cortocircuito cada uno de los carretes del devanado inductor.

Cuando el defecto proviene de una ruptura

del devanado inducido, se busca el punto de ruptura separando todos los carretes del devanado y procediendo como para los carretes inductrices.

Hemos de advertir que solamente puede sospecharse y achacarse el defecto a la ruptura de un conductor, cuando éste sea de muy pequeño diámetro. Es preciso tener cuidado, antes de emprender el trabajo de seccionamiento del devanado, de asegurarse de que las conexiones en los bornes de la máquina están en buen estado y que los enlaces o uniones hechos en toda la longitud del devanado no son defectuosos.

Cuando se trate de un alternador de corriente polifásica, se localiza fácilmente el defecto comprobando si la tensión es nula en los bornes de todos los devanados de las diversas fases, o en los bornes de uno solo.

En el primer caso hay un gran número de probabilidades de que el defecto sea imputable al circuito inductor; en el segundo caso debe haber una corriente de excitación conveniente, puesto que la otra u otras fases dan la tensión normal, y el defecto no puede atribuirse sino al devanado inducido de la fase en la que la tensión es nula.

2.º *El alternador no produce la tensión normal.* — El defecto proviene de un cortocircuito en el devanado inductor o en el devanado inducido.

Podemos darnos cuenta del cortocircuito del devanado inducido por el hecho de que la má-

quina rezumba fuertemente; existe entonces un defecto de aislamiento, sea entre los muchos conductores del devanado, o entre un conductor y la armazón de la máquina. Desde luego se comprobará el aislamiento entre el devanado y la armazón después de haber tenido cuidado de suprimir la conexión entre el punto neutro que se enlaza a menudo a la armazón, en el caso de que la corriente sea trifásica.

Esta comprobación puede hacerse fácilmente intercalando en serie, entre un punto del devanado y la armazón de la máquina, un voltímetro en serie con una pila o un acumulador. La aguja del voltímetro no debe sufrir desviación sensible alguna.

Si el defecto del aislamiento existe entre muchos conductores, no se podrá localizar sino seccionando el devanado y midiendo la resistencia de las diversas partes del mismo.

Se procederá, desde luego, del mismo modo para hallar el carrete defectuoso en el devanado inductor. En este caso, la tensión podría ser inferior a la tensión normal, pero la máquina no rezumbaría y la intensidad de la corriente de excitación sería superior a su valor normal.

Si el defecto se presenta después de la primera vez que se pone en marcha la máquina o después de una reparación que ha necesitado el desmontaje de uno o de varios carretes inducidos o inductores, puede ser atribuído a un error de conexión; en este caso hay que comprobarlos uno a uno.

3.º *Producción de efluvios o chispas en el interior del alternador.*—Con frecuencia se sienten en los alternadores de alta tensión chasquidos o crepitaciones; conviene comprobar, en el caso de que estos chasquidos lleguen a ser frecuentes, si se producen siempre en la misma región. Si así ocurre, es preciso examinar atentamente el aislamiento del devanado en esta región. Se puede comprobar que el aislamiento no se ha deteriorado absolutamente, aplicando entre cada devanado inducido y la armazón de la máquina una tensión alternativamente igual al doble de la tensión de servicio, durante un minuto, y teniendo cuidado de aumentar la tensión progresivamente.

Esta tensión es aquella a que el devanado ha sido sometido como ensayo en los talleres constructores, antes de ser puestos los alternadores a la venta, conforme a las prescripciones oficiales. Si el aislante no soporta esta tensión es preciso reemplazarlo inmediatamente.

El mismo ensayo debe hacerse entre los devanados de las diversas fases, en los alternadores de corriente polifásica. Estas dos comprobaciones se reducen a una sola, enlazando a la armazón de la máquina, conectada a su vez con la tierra, todos los devanados inducidos, salvo aquellos ensayados, y aplicando la tensión indicada entre estos últimos y la armazón.

Se repite este ensayo sobre cada uno de los devanados, permaneciendo enlazado el conjunto, según acabamos de decir.

CAPITULO VIII

ACUMULADORES

Definición y funcionamiento de los acumuladores. — Los acumuladores tienen por función, como su nombre indica, *acumular* o *almacenar* energía, y restituirla luego a medida de las necesidades de la red. La energía recibida y la restituída son ambas energía eléctrica.

El principio en que se fundan los acumuladores es el siguiente: si se sumergen en una disolución salina o acidulada dos placas conductoras, separadas entre sí por la solución, se establece entre ambas una diferencia de potencial y, enlazándolas a los dos bornes de una fuente eléctrica, se establece una corriente en el circuito que se cierra por la disolución. Ahora bien, al pasar la corriente a través del líquido, descompone la sal o el ácido que entra en la constitución de la disolución: esta descomposición tiene lugar mediante leyes conocidas y perfectamente establecidas. Se sabe, en particular, que en virtud de una de estas leyes el peso de materia descompuesta es proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa la disolución.

Este accidente es un fenómeno de *electrólisis*. La solución que descompone la corriente se llama *electrólito*, y las láminas conductoras *electrodos*. Para que los fenómenos de *electrólisis* tengan lugar, es preciso que la corriente pase siempre en el mismo sentido, desde el electrodo enlazado al borne positivo del generador eléctrico, al enlazado con el borne negativo; en otras palabras, que la corriente sea continua; observación es ésta de gran importancia desde el punto de vista de las aplicaciones de los fenómenos de *electrólisis* a los acumuladores.

Lo interesante de este fenómeno es que puede ser *reversible*. Si la solución es convenientemente elegida, así como los electrodos, se observa una diferencia de potencial entre los dos electrodos, después del paso de la corriente eléctrica durante un cierto tiempo en un sentido determinado, habiendo quitado previamente la fuente de electricidad: el aparato se transforma a su vez en un generador de electricidad, y si se unen los dos electrodos por un conductor, se establece una corriente eléctrica a través del mismo desde el electrodo que se unía antes al borne positivo del generador eléctrico al otro electrodo, corriente que se cierra a través de la disolución, y a la que atraviesa en sentido contrario a aquel en que anteriormente era atravesada. Sin embargo, esta corriente no dura indefinidamente: se observa que la diferencia de potencial comprobada al principio disminuye y tiende a ser nula.

¿Cómo se explica este fenómeno? En el primer caso se ha tomado energía eléctrica del generador, energía que transformó el electrólito. Si en seguida se enlazan los dos electrodos por un conductor, la electricidad tiende a volver a su primitivo estado y restituye, en esta transformación inversa de la anterior, la energía almacenada.

Para que el fenómeno se presente en la forma sencilla que acabamos de describir, es preciso que los electrodos y el electrólito sean convenientemente escogidos. No obstante, hasta el presente, sólo los electrodos constituídos por placas de plomo sumergidas en una solución acidulada con ácido sulfúrico, han dado un resultado interesante desde el punto de vista de las aplicaciones industriales de las dos transformaciones invertidas. Frecuentemente, con otros electrodos y otros electrólitos, la descomposición del electrólito da lugar a reacciones químicas denominadas acciones secundarias, que hacen el fenómeno más complejo y la transformación inversa, imposible. Ahora bien, a esta transformación inversa es debida justamente la restitución de la energía eléctrica.

Por esta razón sólo nos ocuparemos aquí de los acumuladores de plomo.

Cada acumulador está formado por un recipiente de vidrio, lleno de agua acidulada con ácido sulfúrico y en la que se sumergen varias láminas de plomo (fig. 71), llamadas unas *positivas* y otras *negativas*. Unas y otras están

unidas entre sí por un conductor que constituye a su vez un borne del acumulador; el conductor que enlaza las placas positivas constituye el polo positivo, y el que enlaza las negativas es el polo negativo.

En el depósito o recipiente, cada placa positiva está colocada entre dos negativas, de

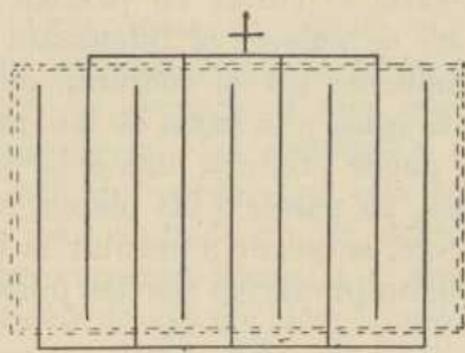


Fig. 71. — Acumulador mirado desde encima: disposición de las placas en el depósito.

modo que las dos caras de todas las placas, positivas y negativas, son activas, salvo para las dos que constituyen los extremos de la serie, en las que sólo una fase es necesariamente activa.

Este sistema de disponer o montar las placas se asemeja al montaje o enlace en paralelo de muchas pilas, por ejemplo, asimilando el conjunto de dos caras, colocadas una frente a la otra, a las dos placas de nombre contrario de una pila. La fuerza electromotriz de un acumulador o de un *elemento*, según el término empleado en general para designar un recipien-



te constituido tal como acabamos de definir, es independiente del número de placas : esta fuerza electromotriz es siempre igual a la que existe entre las dos superficies colocadas frente a frente de dos placas de nombre contrario. Es decir, es la misma que si el elemento estuviese constituido sólo por dos electrodos. Esto es lo que caracteriza el enlace en paralelo. Pero en este sistema de enlace, la intensidad de la corriente producida por el conjunto de pilas así acopladas es igual a la suma de las intensidades de la que puede producir una sola pila. Enlazando, pues, en paralelo las placas, según acabamos de ver, se puede aumentar la intensidad de la corriente producida por las pilas o el acumulador.

Lo que caracteriza a un acumulador es la fuerza electromotriz, independiente del número de placas, y la intensidad de la corriente que puede producir. Pero importa precisar este último punto. Para que un acumulador dé una cierta corriente, es preciso que previamente la haya almacenado. La operación que consiste en dar o proveer a un acumulador de corriente eléctrica se denomina *carga* del acumulador ; cuando, por el contrario, el aparato restituye la corriente almacenada, se dice que se *descarga*. Podemos admitir, en una primera aproximación, que la energía restituída es igual a la energía almacenada : en realidad, ha de ser necesariamente inferior, a causa de las pérdidas de energía que son inevitables en toda

transformación. Ahora bien, la energía eléctrica se define por la diferencia de potencial y la cantidad de electricidad; y, por otra parte, la cantidad de electricidad almacenada o restituida por el acumulador es igual al producto de la intensidad de la corriente durante la carga o la descarga por la duración de esta carga o descarga.

Hemos de recordar, en efecto, que la intensidad de la corriente eléctrica en un circuito es la cantidad de electricidad que atraviesa una sección transversal del conductor en un segundo. Es fácil recordar que esta cantidad de electricidad almacenada en un acumulador se expresa en amperios-horas. Un amperio-hora es la cantidad de electricidad almacenada, por ejemplo, por un acumulador en el que se hubiese dado una corriente de un amperio durante una hora. La cantidad de electricidad que puede almacenar un acumulador depende del peso de las láminas de plomo que lo forman. Para un acumulador dado, esta cantidad no puede sobrepasar de un máximo, a cuya cantidad se llama capacidad de un acumulador, y se evalúa en amperios-horas.

Así, pues, un acumulador se caracteriza por su capacidad. Se dirá, por ejemplo, que un acumulador tiene una capacidad de 100 amperios-horas, si puede almacenar 10 amperios en 10 horas ó 20 amperios en cinco horas, y restituir sensiblemente la misma corriente durante el mismo tiempo.

En realidad, la duración de la carga es la misma para todos los acumuladores, o sea de cinco a seis horas, mientras que la duración de la descarga es variable: la descarga depende, bien tentendido, de la demanda de electricidad por parte de los aparatos de la red alimentados por dicho acumulador. Es preciso observar aquí que, si un acumulador puede restituir 10 amperios en 10 horas, no restituirá exactamente 20 amperios en cinco horas, sino un poco menos. Su capacidad para la descarga disminuye a medida que la duración de la misma disminuye. En general, se define una acumulador, para evitar todo error, por su capacidad para la descarga y por la duración de ésta para la cual se entiende esta capacidad. Se dice que un acumulador tiene una capacidad de 80 amperios-horas en cinco horas, si puede proporcionar 16 amperios por hora, a condición de que hubiese almacenado al menos esta cantidad de electricidad, es decir, que se le hubiese cargado durante seis horas con una corriente de 14 amperios y aun con una corriente de intensidad un poco mayor teniendo en cuenta las pérdidas.

En lo que a la diferencia de potencial se refiere, es independiente de las dimensiones y del número de placas que constituyen un elemento. Para cargar un acumulador hay que aplicar a sus bornes, al principio, una tensión de dos voltios aproximadamente, cuyo potencial se aumenta hasta 2,5 ó 2,6 voltios al final

y de un modo progresivo. En la descarga, el acumulador presenta entre sus bornes una diferencia de potencial próximamente igual a 2,25 voltios ; pero esto únicamente es el verdadero valor al principio de la descarga. Esta diferencia de potencial disminuye con bastante rapidez hasta 2 voltios, y permanece constante e igual a 2 voltios durante un cierto tiempo, disminuyendo luego a medida que el acumulador se descarga. No es preciso que esta tensión baje a un valor inferior a 1,85 ó 1,80 voltios ; por consiguiente, se procurará detener la descarga del acumulador cuando su tensión alcance como *mínimum* entre sus bornes 1,85 voltios. El acumulador podría proporcionar energía eléctrica aún a potencial inferior a éste ; pero trabajaría entonces en malas condiciones ; en particular las placas se deteriorarían, y no podrían ser utilizadas para una nueva carga.

Generalmente, en las centrales eléctricas es preciso disponer de tensiones superiores a las que proporciona un acumulador : dispónese para ello de baterías de acumuladores formadas por un cierto número de elementos en serie. Este número depende de la tensión de la batería ; y esta tensión es la misma que la que proporcionan las máquinas generatrices de la estación central. Supongamos, por ejemplo, para fijar ideas, que esta tensión fuese de 115 voltios. Será preciso que la tensión desarrollada por la batería durante su descarga sea la de 115 voltios ; así, según acabamos de ver, cada

elemento da en la descarga una diferencia de potencial que oscila entre 2,25 voltios al principio y 1,80 voltios al fin. Al principio, pues, de la descarga se necesitará acoplar un menor número de elementos que al fin. Para calcular el número de elementos de la batería, se considera el caso en que es necesario emplear el mayor número de elementos, es decir, al fin de la descarga, teniendo en cuenta la tensión que alcanza cada elemento enlazado en serie: la tensión de la batería es igual a la suma de las tensiones que manifiesta o tiene cada elemento entre sus bornes. Bastará, pues, dividir 115 voltios por 1,80 voltios, para conocer el mayor número de elementos que han de integrar la batería, o sean:

$$\frac{115}{1,8} = 64 \text{ elementos ;}$$

frecuentemente son suficientes 60 elementos para producir una tensión de 115 voltios, admitiendo que los acumuladores no alcanzan a tener en su descarga la tensión mínima de 1,8 voltios expresada.

Pero al principio de la descarga será preciso reducir el número de elementos en servicio: como cada elemento da 2,25 voltios, será preciso un número de elementos enlazados en serie, inferior a 64: este número se obtiene dividiendo 115 por 2,25: será, pues:

$$\frac{115}{2,25} = 51 \text{ elementos.}$$

Los 13 restantes suprimidos al principio son los *elementos de reducción*. Estos se añaden a los que ya están en servicio a medida que la batería se descarga, realizando este enlace mediante un aparato denominado *reductor*.

Para otra tensión cualquiera los cálculos se harán tal como nosotros los hemos desarrollado para el caso en que la tensión fuese de 115 voltios.

Diversos modos de cargar una batería de acumuladores. — El problema de la carga de una batería de acumuladores no es tan sencillo como a primera vista parece. Para disponer de la tensión deseada en los bornes de la batería, hace falta haberla cargado antes. Ahora hemos visto que, en tanto que al principio de la descarga la tensión del elemento era 2,25 voltios, y disminuía luego hasta 1,85 ó 1,80 voltios, la tensión que se aplicaba a los bornes para la carga era próximamente igual a dos voltios, y después debía elevarse hasta 2,5 ó 2,6 voltios. Si al descargarla la batería consta de 64 elementos—el mayor número de éstos que se necesita para obtener en los bornes de la batería una tensión igual a 115 voltios—, es preciso aplicar a los bornes de esta misma batería, para cargarla, una diferencia de potencial que debe variar entre 64×2 voltios, es decir, 128 voltios al principio de la carga, a $64 \times 2,5$ voltios, o sean unos 160 voltios al final de la misma. Pero la carga de la batería está asegurada por la

máquina o máquinas de la estación central, las cuales están especialmente dispuestas para producir una tensión constante de 115 voltios, por ejemplo. ¿Cómo se podrá obtener la tensión de 128 voltios y, sobre todo, la de 160 voltios, indispensable para cargar los 64 elementos? Invitamos al lector a reflexionar detenidamente sobre este problema, y volvemos a hacer notar que el razonamiento que vamos a desarrollar, tomando como ejemplo una batería de 64 elementos, a la que corresponde una tensión de 115 voltios, se puede aplicar a una batería que constase de n elementos, a la que correspondería una tensión igual a $n \times 1,80$ voltios. El enunciado del problema es el siguiente :

Es preciso que la batería tenga 64 elementos si se quiere disponer en la descarga de una tensión de 115 voltios ; pero, por otra parte, se necesita, para cargar estos elementos, que la tensión en los bornes de la batería pueda elevarse, al fin de la carga, hasta 160 voltios. ¿Cómo llegaríamos a asegurar la carga de esta batería ?

La solución más sencilla consiste en proveerse de una o varias máquinas generatrices de tensión variable de 115 a 160 voltios. Esta tensión se regula mediante el reóstato de inducción, en tanto que dura la carga de la batería, cuya tensión se regula a medida que la batería se carga. Esta solución conviene adoptarla en las instalaciones poco importantes, y cuando el redimiento de la generatriz no se ha

de tener en cuenta. Presenta, en efecto, algunos inconvenientes que son los siguientes :

1.º El rendimiento de la generatriz difiere necesariamente a 115 y a 160 voltios ; hay, pues, un régimen por el cual la generatriz funciona en malas condiciones desde el punto de vista del rendimiento, defecto que no es posible remediar aquí. La carga de la batería conduce así a una pérdida de energía, pérdida que no tiene importancia alguna si la fuerza motriz es producida por un salto de agua, pero que si la máquina que acciona la generatriz es una máquina de vapor o un motor de gas, o petróleo, dicha pérdida es de gran importancia, pues entraña un gasto suplementario de combustible (carbón, gas, petróleo, etc.).

2.º Si la generatriz debe alimentar una red, asegurando la carga, es preciso evitar que la variación de la tensión en los bornes de la generatriz se haga sentir sobre la red ; los aparatos de utilización o receptores están construídos para funcionar a una tensión constante, perfectamente determinada. Si se trata de lámparas, por ejemplo, construídas par 110 voltios, el filamento de las mismas corre el peligro de quemarse si la tensión en los bornes se eleva a 160 voltios. Pero se puede mantener constantemente la tensión sobre la red, aunque varíe en los bornes de la generatriz, gracias al empleo de un reductor doble, montado según indica la figura 72.

La tensión, variable en la generatriz, es la

que se aplica a los extremos de la batería ; se puede, desde luego, variar la posición de uno de estos bornes mediante uno de los conmutadores del reductor doble ; esto permite poner

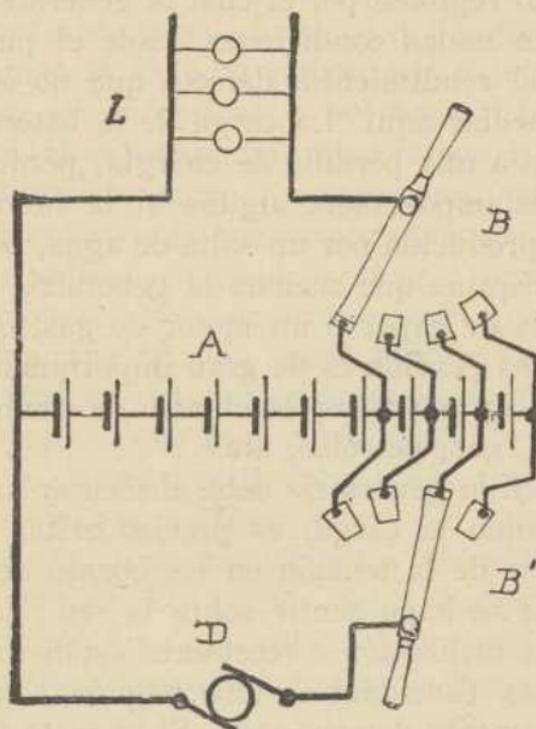


Fig. 72. — Reductor doble de acumuladores.

fuera de servicio un cierto número de elementos, los elementos de reducción para los cuales la duración de la descarga es corta, y la duración de la carga debe, por tanto, ser reducida igualmente. El otro conmutador del reductor doble está enlazado a uno de los hilos de la línea, y, gracias a este conmutador, se puede

hacer variar el número de elementos de la batería en servicio, de manera que la tensión sea

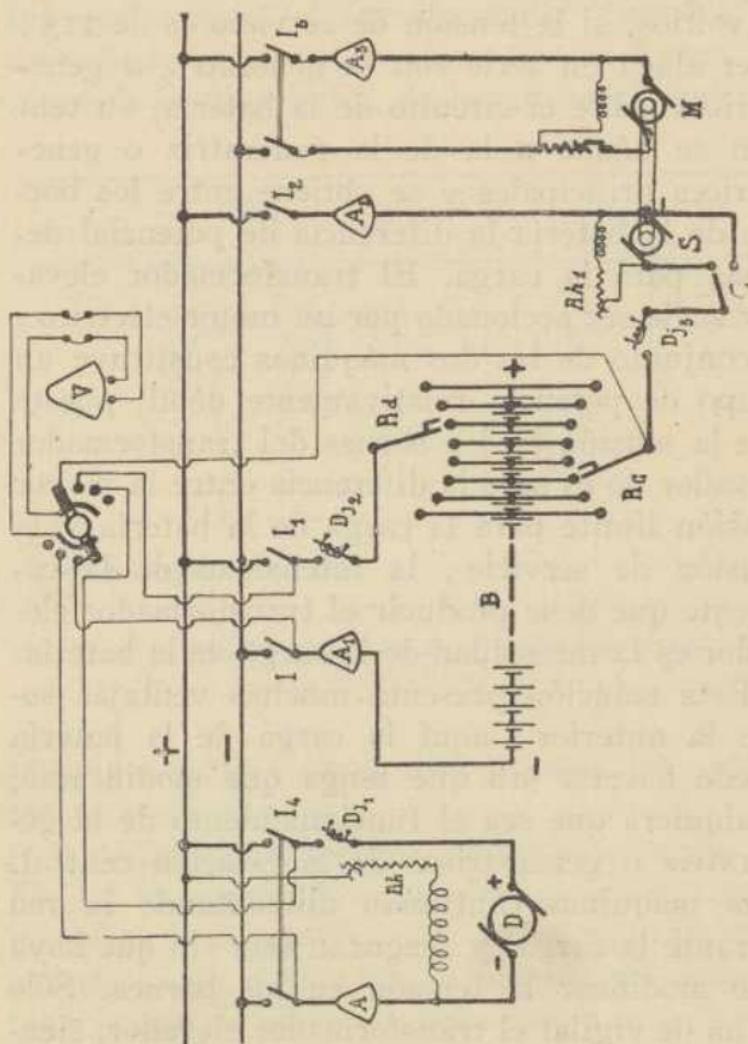


Fig. 73. — Batería de acumuladores, con reductor doble y transformador elevador.

siempre constante e igual a la tensión de distribución.

En la segunda solución se monta en serie



con la o las generatrices un transformador elevador (fig. 73). Esta máquina es una nueva generatriz, cuya tensión puede variar de 0 a 50 voltios, si la tensión de servicio es de 115; intercalada en serie con la generatriz o generatrices sobre el circuito de la batería, su tensión se añade a la de la generatriz o generatrices principales y se obtiene entre los bornes de la batería la diferencia de potencial deseada para la carga. El transformador elevador suele ser accionado por un motor eléctrico: el conjunto de las dos máquinas constituye un grupo de potencia relativamente débil, puesto que la tensión en los bornes del transformador elevador no es sino la diferencia entre la mayor tensión límite para la carga de la batería y la tensión de servicio; la intensidad de la corriente que debe producir el transformador elevador es la intensidad de la carga de la batería.

Esta solución presenta muchas ventajas sobre la anterior: aquí la carga de la batería puede hacerse sin que tenga que modificarse, cualquiera que sea el funcionamiento de la generatriz o generatrices de la estación central. Las máquinas continúan alimentando la red durante la carga, y aseguran ésta sin que haya que modificar la tensión en los bornes. Sólo se ha de vigilar el transformador elevador, siendo regulada la tensión en los bornes del mismo. Durante la descarga el transformador elevador se pone fuera de circuito, y la batería marcha en paralelo con las generatrices.

En las estaciones centrales importantes no se titubea en adoptar esta solución, sobre todo si la batería tiene una gran capacidad. El motor que acciona el transformador elevador es un motor excitado en shunt, y la figura 73 muestra la disposición de los diversos órganos

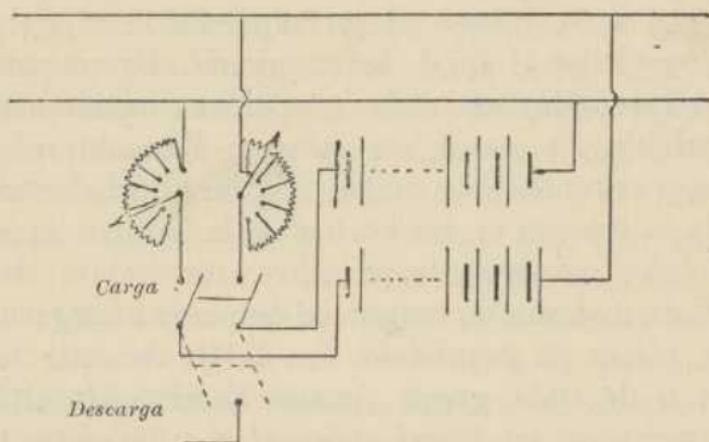


Fig. 74. — Carga de una batería de acumuladores en dos series en paralelo.

y las conexiones entre ellos y entre los aparatos receptores.

Por último, la tercera solución consiste en dividir la batería de acumuladores en dos grupos para la carga (fig. 74). Si se trata de una batería de 64 elementos, el número de elementos que han de entrar en cada grupo será de 32. Estos 32 acumuladores se enlazarán en serie en cada grupo y cada uno se carga a la tensión de servicio. Se observa entonces que la mayor tensión necesaria para la carga de un grupo es

$32 \times 2,5$ voltios, igual a 80 voltios próximamente, e inferior a la tensión de servicio; al principio de la carga, la tensión en los bornes del grupo no ha de sobrepasar a $32 \times 2 = 64$ voltios. Ahora se dispone de una tensión de 115 voltios, si admitimos una batería de 64 elementos. Es, pues, preciso reducir la tensión de 115 a 64 voltios al principio de la carga y a 80 voltios al final de la misma. Basta para esto intercalar en cada grupo una resistencia regulable, es decir, un reóstato llamado *reóstato* o *regulador de carga*. Mediante éste se regula la tensión en los bornes de la batería hasta un valor conveniente para la carga.

Este sistema de cargar se denomina carga en *dos series en paralelo*. La carga de cada serie, o de cada grupo, puede hacerse simultáneamente o en horas diferentes: depende de la potencia que tenga la generatriz que produce la corriente para la carga. Hemos de advertir que si la carga de ambos grupos se hace simultáneamente, la intensidad de la corriente total producida por la generatriz es igual al doble de la intensidad de la carga de un elemento de la batería. Es preciso que la generatriz pueda producir una corriente de esta intensidad para que la carga de los dos grupos pueda tener lugar simultáneamente.

El inconveniente que presenta esta solución es la pérdida de energía en el regulador de carga; cada uno de éstos reguladores, en los que se produce una caída de tensión de 35 a

41 voltios, para una tensión de servicio de 115, es recorrido por una corriente cuya intensidad es la intensidad de la carga de la batería; el producto de la caída de tensión por esta intensidad de corriente representa la potencia perdida en watios, y si se multiplica este resultado por el número de horas de servicio, se obtiene la energía perdida en watios-horas en cada regulador. Esta cifra tiene una importancia relativamente grande con respecto a la que representa la energía almacenada en la batería, y tiene por efecto reducir notablemente el rendimiento de la misma. Por esta razón este método de carga no se adopta sino cuando la energía que puede acumular la batería es relativamente débil con respecto a la que puede desarrollar la generatriz durante el tiempo correspondiente a la duración de la carga.

Para la descarga se enlazan en serie los dos grupos de acumuladores mediante un inversor, tal como el que representa la figura 74.

Durante la carga de una batería de acumuladores es preciso vigilar las condiciones en las cuales se efectúa, y regular la tensión en los bornes de la batería, accionando ora sobre la excitación de la generatriz en la primera solución, ora sobre la del transformador elevador en el segundo caso, o bien sobre los reguladores de carga en el último. Se comprueba que la tensión en los bornes de la batería es convenientemente regulada, leyendo, no las indicaciones del voltímetro, sino las de un ampe-

rímetro montado en serie con la batería : la intensidad de la corriente de carga debe ser constante durante toda esta operación. Tiene un valor determinado, según vimos más arriba ; si la intensidad de esta corriente disminuye y llega a ser inferior a su valor normal, durante la carga, es preciso aumentar la tensión en los bornes de la batería, por uno de los procedimientos indicados, según el sistema de carga adoptado.

Papel que desempeña una batería de acumuladores.—Hemos estudiado el funcionamiento de una batería de acumuladores, después de haber dado el principio en que se funda. Conviene entre tanto darse cuenta del interés que puede presentar una batería de acumuladores, y de su papel en la estación central. De una manera general, gracias a la batería de acumuladores, se dispone, cuando está cargada, de una cantidad de energía, la cual podremos utilizar según las necesidades de la red, y según las condiciones generales de marcha de la estación central.

Vamos a considerar algunos casos particulares más frecuentes, que ponen en evidencia la utilidad de la batería de acumuladores.

Supongamos, primeramente, una central eléctrica destinada a alimentar una red sobre la cual los motores absorben una potencia muy elevada, mientras que el alumbrado consume otra potencia más débil. Admitamos, además,

que los motores funcionen sólo durante el día ; resultará que durante la noche, y fuera de las horas normales del trabajo en las fábricas, la potencia consumida por la red y destinada únicamente al alumbrado será notablemente inferior a la que produce la central eléctrica durante el día. Sería oneroso dejar la central en servicio o funcionando durante la noche, para asegurar el alumbrado. Aquí está, pues, indicado cargar una batería de acumuladores durante el día, mientras que las máquinas de la central funcionan, y la energía así almacenada será restituída durante la noche para el alumbrado.

Con frecuencia se pondrá en servicio la batería durante el día, siempre que la carga de la red lo exija ; funciona entonces en paralelo con los generadores. Este caso se puede presentar a la caída de la tarde de los días de invierno ; las fábricas y talleres funcionan y, por otra parte, el alumbrado se hace indispensable. Durante este lapso de tiempo la central ha de asegurar el funcionamiento de los motores y el alumbrado, al menos, durante dos o tres horas. Ahora bien, la generatriz o generatrices que deben tener una potencia suficiente para alimentar los motores y asegurar la carga de la batería, durante seis horas del día, pueden ser débiles e insuficientes para desarrollar la potencia necesaria para alimentar los motores y al mismo tiempo el alumbrado ; la batería restituye durante estas dos o tres horas la energía almacenada en seis horas, y permite a las



máquinas soportar las sobrecargas que frecuentemente ocurren.

Aquí la descarga de la batería se hace en condiciones conocidas : se puede prever las horas durante las cuales deberá estar en servicio, lo que supone una marcha regular de la instalación en general. Pero si las redes son numerosas, la carga varía entre límites muy extensos y durante un tiempo muy corto ; así, la dificultad estriba en construir aparatos reguladores de la velocidad y de la tensión de las generatrices de acción rápida, para que ellas puedan seguir las variaciones bruscas de carga. Es preciso que en el instante en que la carga aumente, la tensión en los bornes de las máquinas sea mantenida rigurosamente constante, lo que no se puede realizar con un aparato de regulación automático, por sensible que sea. También en este caso será útil la batería de acumuladores. Esta batería, enlazada constantemente en paralelo con las generatrices, no se descarga en tiempo normal, es decir, en tanto que la red no presente modificaciones bruscas de carga ; basta para ello que dicha batería no se descargue, y que la tensión en los bornes de la generatriz sea algo superior a la de la batería. Pero cuando en la red tiene lugar un aumento brusco de carga, la tensión en los bornes de la generatriz tiende a disminuir, pues la velocidad de la máquina disminuye y la batería interviene y asegura la alimentación de la red durante esta variación ; el tiempo durante el cual

interviene la batería es corto, pero suficiente, sin embargo, para permitir actuar a los reguladores de velocidad y eventualmente al de tensión.

Una batería de esta naturaleza se denominará *batería-tampón*, ya que desempeña aquí el mismo papel que el volante de la máquina de vapor, y almacena energía durante el servicio normal y hace menos sensibles los cambios bruscos de carga de la red. La batería tampón es muy útil emplearla en las redes de tracción, en las que las variaciones de la carga son frecuentes e intensas, como ocurre principalmente en el momento de arranque de los trenes y tranvías, en que hay un gran consumo de corriente, mientras que, al detenerse, la carga disminuye rápidamente.

Lo mismo ocurre en las líneas que alimentan minas y talleres metalúrgicos: las máquinas de extracción, laminadoras, etc., dan lugar a variaciones bruscas y frecuentes de la carga.

En fin, la batería de acumuladores puede ser útil para la alimentación de los servicios auxiliares de la central eléctrica misma y de su alumbrado. En las centrales, en las que la fuerza motriz está producida por el vapor, los servicios de dichas centrales tienen una gran importancia si se tiene en cuenta las diversas bombas de alimentación de las calderas y de la condensación; frecuentemente, en las instalaciones modernas todos los servicios de las má-

quinas son automáticos : transporte del carbón, carga de los hogares, calderas, movimiento regular y continuo de las rejillas de estos hogares, el cual tiene por objeto asegurar una buena repartición del fuego sobre las calderas y una buena utilización del calor desprendido por el combustible. Hoy día todos estos trabajos son realizados por motores eléctricos. Para alimentar a estos motores es precisa una fuente eléctrica que está representada por las generatrices de la central eléctrica cuando las máquinas están en servicio ; pero, ¿cómo asegurar estos servicios durante el reposo y puesta en marcha de las generatrices? Los servicios auxiliares deben, en efecto, funcionar antes que las generatrices, y es en este momento cuando debe utilizarse la batería de acumuladores que tiene reserva de energía eléctrica. Frecuentemente la batería asegura los servicios auxiliares de la central, no sólo durante la puesta en marcha de las generatrices, sino también de un modo continuo.

Conviene hacer una advertencia respecto a las baterías de acumuladores : éstas funcionan únicamente con corriente continua. No podemos, pues, suponer el funcionamiento de una batería de acumuladores fundada en el principio y utilización de una corriente alterna.

Así, pues, si una central eléctrica generadora de corriente alterna posee una batería de acumuladores, ha de tener forzosamente una dínamo de corriente continua, accionada por un

motor de corriente alterna, y destinada a cargar la batería. Ésta, por su parte, ha de asegurar un servicio especial y no puede funcionar sobre el mismo circuito y al mismo tiempo que las generatrices que producen la corriente alterna. La batería puede destinarse a la alimentación de servicios auxiliares de la central eléctrica, por ejemplo: los motores que funcionan en la central son de corriente continua alimentados por la batería. O también, puede alimentar la línea de alumbrado por lámparas de incandescencia, mientras las máquinas están paradas, puesto que estas lámparas funcionan indistintamente con corriente continua que bajo corriente alterna, siempre que la tensión de la corriente sea la conveniente. Pero la batería no puede servir para alimentar los motores que funcionen con una corriente alterna.

Cuidados que se han de tener con una batería de acumuladores. — Una vez instalada una batería de acumuladores, se han de tomar una serie de precauciones y vigilarla con asiduidad durante su funcionamiento.

Toda batería de acumuladores ha de ser instalada en un local destinado especialmente a este fin, que debe ser bien aireado; en efecto, durante su funcionamiento se producen gases cuya eliminación y arrastre fuera del local se ha de llevar a cabo mediante una buena ventilación. Éstos gases, en atmósfera húmeda, provocarían la condensación de la humedad, lo que

daría lugar a que se depositasen gotas de agua sobre las paredes externas de los elementos, que perjudicarían el buen aislamiento de la batería. Los depósitos o cubas, de vidrio o de madera, recubiertos de plomo, están colocados sobre aisladores de vidrio o porcelana apoyados sobre un piso de madera. Todas estas precauciones se toman con el fin de aislar la batería del suelo. Ahora bien; el efecto de los aisladores queda notablemente reducido, cuando se recubren de humedad; la misma madera se vuelve conductora de la electricidad, o al menos un mal aislante, cuando está húmeda.

Antes de poner una batería en servicio es preciso proceder a la formación de las placas, todas de una vez, o sea en una sola operación.

Las placas de los acumuladores de plomo deben ser convenientemente preparadas para que gocen de la propiedad utilizada en los acumuladores, es decir, para poder almacenar y restituir la energía eléctrica, en las condiciones indicadas más arriba. Esta oxidación conveniente se obtiene con la operación llamada *formar las placas*: basta, para esto, hacer pasar por el elemento una corriente de carga y descargarlo en seguida, repitiendo la operación una o muchas veces, según el tipo de acumuladores adoptados, pero ésto antes de poner en servicio el acumulador.

En lo que a la vigilancia de una batería se refiere, durante su funcionamiento, es preciso tener cuidado de detener su descarga cuando la

diferencia de potencial entre sus bornes sea igual a 1,8 voltios, límite que vendrá dado por la indicación de un voltímetro enlazado en los bornes de la batería : el número de elementos que compone la batería está ya previamente calculado para que la tensión alcanzada por la corriente al final de la descarga sea igual a la de la corriente de servicio en la red. Por consiguiente, se procurará detener la descarga cuando la tensión en los bornes de la batería sea algo inferior a la de servicio, estando los elementos en serie. Si la batería funciona en paralelo con la generatriz o generatrices, se comprueba el fin de la descarga leyendo las indicaciones del amperímetro conectado en el circuito de la batería ; la tensión, en los bornes de la generatriz o generatrices, y mientras la tensión de la batería disminuye, la intensidad de la corriente producida por la batería disminuye también, para anularse en un instante dado y cambiar de sentido. En este momento debe comenzar la carga ; es preciso, pues, tomar las precauciones necesarias, para asegurar esta carga, o según las condiciones de marcha de las máquinas, poner las baterías fuera de circuito, considerándolas como descargadas, y ver si es posible proceder a su carga.

Ya hemos visto cómo se puede efectuar la carga de una batería, y no volveremos a insistir sobre ello. Recordaremos, sin embargo, que la intensidad de la corriente de carga debe mantenerse constante, lo que se consigue regulan-

do la tensión en los bornes. Se considera la carga como terminada, cuando el voltímetro, conectado con los bornes de la batería, da una tensión correspondiente a 2,6 voltios próximamente por elemento. Notemos, a este propósito, que los aparatos de medida destinados al servicio de la batería pueden llevar indicadores de carga o descarga para evitar cálculos en cada operación diferente.

Durante la carga, conviene vigilar igualmente la batería : se observa hacia el fin de la operación una abundante producción de burbujas gaseosas ; en este momento es prudente reducir a la mitad la intensidad de la corriente de carga, y cortarla cuando comienzan a aparecer grandes burbujas. Estas indicaciones son evidentemente poco precisas, y nos podemos dar perfecta cuenta de lo que pasa en la batería empleando el *densímetro*, tubo de vidrio en el fondo del cual hay una pequeña cantidad de mercurio ; sumergido este tubo en el líquido, se hunde hasta una cierta profundidad, debido al mercurio que obra como lastre. El tubo está graduado en *grados Baumé*, que indican la densidad de la disolución de ácido sulfúrico. Al finalizar la carga, la densidad debe ser tal, que el tubo se hunda hasta 22° o 25°, lo que corresponde próximamente a una densidad de 1,20. Después de la descarga se descompone el ácido sulfúrico, y la densidad disminuye.

Los diversos elementos deben ser cuidadosamente vigilados : las placas tienen la tenden-

cia a doblarse o combarse y a disgregarse, después de un cierto tiempo de servicio. En el primer caso pueden producirse cortocircuitos en el interior de los elementos y, por consiguiente, una reducción de la diferencia de potencial en los bornes de la batería ; en el segundo caso se produce una disminución de la capacidad de la misma.

CAPITULO IX

TRANSFORMADORES

Transformación de la energía eléctrica. — Se trata aquí, no de la transformación de la energía eléctrica en química o mecánica, ni en la transformación inversa, sino exactamente de un cambio de la forma que reviste la energía eléctrica. Ya hemos visto que la energía eléctrica se manifiesta por la existencia, en un conductor, de una corriente eléctrica, con la condición de que entre los extremos del conductor, que no ha de presentar ninguna solución de continuidad, haya una diferencia de potencial. La energía eléctrica se caracteriza por la diferencia de potencial y por la intensidad de la corriente, dos factores muy distintos entre sí, y podemos decir que las formas de la energía eléctrica son diferentes, si en un caso la diferencia de potencial es más grande que en otro. Sabemos que, si en los dos casos la cantidad de energía eléctrica puesta en juego durante el mismo tiempo es la misma, la intensidad de la corriente es más débil, en el primer caso, para una diferencia de potencial elevada, que en el

segundo, si la diferencia de potencial es pequeña. En otros términos, para la misma cantidad de energía, lo que se gana en diferencia de potencial se pierde en intensidad de corriente.

Para fijar ideas consideremos dos máquinas generatrices que puede dar cada una 110 voltios en los bornes y una corriente de 100 amperios. Si están acopladas en serie, podrán dar en conjunto una intensidad de 100 amperios, bajo una diferencia de potencial de 220 voltios: tal será la forma de la energía eléctrica disponible en los bornes de la máquina.

Si las máquinas están enlazadas en paralelo, producirán en conjunto una corriente de 200 amperios, bajo una diferencia de potencial de 110 voltios: la forma de la energía eléctrica disponible es diferente de la obtenida en el caso anterior, aunque la cantidad de energía obtenida durante el mismo tiempo es la misma en los dos casos.

Pero la diferencia de potencial y la intensidad no son suficientes para definir una corriente eléctrica; ya hemos visto que una máquina puede producir corriente continua, como ocurre con las máquinas, corriente idéntica a la producida por las pilas o la corriente alterna, como los alternadores. Así pues, la energía eléctrica está también definida por la naturaleza de la corriente, continua o alterna.

Por último, en el caso de que sea alterna,

es preciso, según dijimos, indicar su frecuencia en períodos por segundo.

El problema práctico que se presenta es el siguiente : puede haber interés en dar a la energía eléctrica una forma diferente, para su utilización, de aquella bajo la cual ha sido producida. Citaremos algún ejemplo, para comprender bien lo que significa este problema de la transformación de la energía eléctrica. Por razones que veremos más adelante, se adopta frecuentemente una tensión muy elevada, aun en los bornes del alternador, cuando se trata de una red muy dilatada ; pero sería imprudente utilizar directamente la energía eléctrica bajo esta forma a tensión tan elevada. Las lámparas de incandescencia, por ejemplo, no pueden fabricarse sino para tensiones relativamente bajas, 100 a 200 voltios como máximo. Aquí, pues, hay interés para llevar a la tensión de utilización, 100 voltios, por ejemplo, la energía eléctrica producida bajo una tensión que puede alcanzar hasta 10.000 voltios y aún más.

Como segundo ejemplo examinaremos una red alimentada por una corriente alterna. Supongamos que se quiere utilizar esta corriente, en un punto de la red, para galvanoplastia ; para ello la corriente ha de ser continua. Será, por consiguiente, preciso transformar la corriente recibida, corriente alterna, en corriente continua.

Estas transformaciones son siempre posibles, y a menudo mediante aparatos muy sencillos

que se llaman *transformadores*, los cuales nos proponemos estudiar aquí.

Comenzaremos por hacer una distinción entre los transformadores que no transforman la naturaleza de la corriente y que se aplican sólo a las corrientes alternas, y aquellos que transforman la corriente alterna en continua, e inversamente.

Los primeros, cuyo objeto es disminuir la tensión de la corriente recibida, se llaman *transformadores estáticos*, en los que la transformación se realiza sin que sea necesario poner ningún órgano en movimiento: la transformación, en cierto modo, es automática. Los segundos transformadores son máquinas constituídas por un motor alimentado por la corriente recibida, que puede ser alterna o continua, y una generatriz accionada por este motor y que produce corriente continua o alterna. Estas máquinas forman, así, un grupo que lleva el nombre de *convertidor*. Se pueden reunir en una sola las dos máquinas, motor y generatriz; estas máquinas se denominan *conmutatrices*. Para distinguir estos transformadores de los de primera categoría, se les puede dar el nombre de *transformadores rotativos*, puesto que la transformación de la energía se produce gracias al movimiento de un órgano, el inducido, en general, en un campo magnético inductor.

Principio de los transformadores estáticos. — Estos aparatos están basados sobre el fenóme-

no de inducción electromagnética: para comprender el principio en que se fundan, basta recordar que, para que una fuerza electromotriz tome nacimiento en su conductor, por inducción, es preciso que este último se halle en un campo magnético variable; en las máquinas,

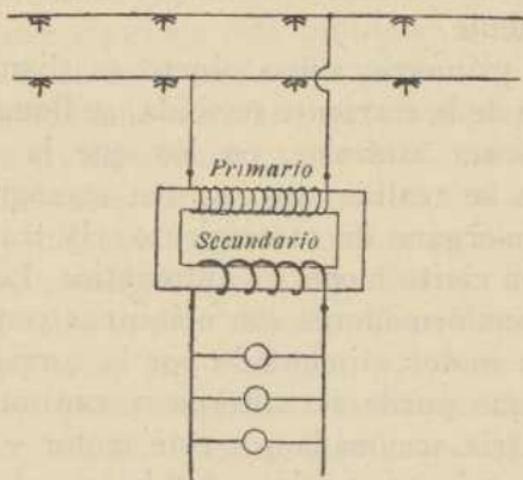


Fig. 75. — Transformador monofásico.

como en los alternadores, la variación del campo magnético es debida al desplazamiento del conductor en el campo inductor. Pero se puede hacer variar el campo magnético, en el que está colocado el conductor, sin que se tenga que provocar el desplazamiento del conductor inducido ni del sistema inductor, sino haciendo variar la corriente del devanado inductor que engendra el campo magnético inductor. La corriente alterna tiene precisamente la propiedad de variar en cada instante y de crear por este

hecho un campo magnético, cuyas variaciones siguen constantemente las de la corriente. Si se arrolla, pues, un carrete primario alrededor de un núcleo de hierro o acero, y se hace recorrer este carrete por una corriente alterna, se produce en el núcleo un campo magnético cuya intensidad y sentido cambia cuantas veces lo hace la corriente que lo crea. Si alrededor de este mismo núcleo se adapta un segundo carrete, será atravesado por este flujo variable, y todo pasa como si el carrete se desplazase alternativamente delante de los polos norte y sur de una máquina generatriz, y girase en el campo magnético producido por los polos. Cada espira del carrete es asiento de una fuerza electromotriz proporcional al valor máximo del flujo y a la velocidad de la variación. Como las espiras de este segundo carrete están en serie, la fuerza electromotriz recogida en sus bornes es igual a la suma de las fuerzas electromotrices inducidas en sus espiras (fig. 75).

En los bornes de este segundo carrete se dispone, pues, de una fuerza electromotriz cuyo potencial no es precisamente igual al que poseía la corriente aplicada a los bornes de la primera espira, pero que depende de ella, según se deduce del siguiente raciocinio: designemos por N_1 el número de espiras del primer carrete, y por N_2 el de espiras del segundo; suponemos que en los bornes del primer carrete se aplica una diferencia de potencial de U_1 voltios. Se trata aquí de aplicar a los bornes de

cada espira de este carrete una diferencia de potencial N_1 veces menor, lo que se obtiene dividiendo U_1 por N_1 o sea :

$$u = \frac{U_1}{N_1}$$

Pero esta diferencia de potencial da lugar en cada espira a una cierta corriente que crea un campo magnético y, por consiguiente, un flujo que atraviesa la espira. Ahora bien, supongamos que la corriente en cuestión sea corriente alterna, condición esencial para que el fenómeno indicado se produzca. Según las leyes de la inducción, toda variación del flujo a través de una espira formada por este conductor da lugar a una fuerza electromotriz que se opone a la variación del flujo que lo engendra. A la diferencia de potencial de u voltios, en los extremos de cada espira, se oponen, pues, esta fuerza electromotriz inducida y la caída de tensión que se produce en todo conductor que presenta una cierta resistencia ; pero aquí, en una primera aproximación no podemos tener en cuenta esta caída de tensión, muy débil con relación a la fuerza electromotriz inducida por la variación del flujo. Si entretanto consideramos lo que ocurriría en una espiral arrollada alrededor del mismo núcleo, pero independiente de las del primer carrete y a los bornes del cual no haya aplicada ninguna diferencia de potencial, esta espira es igualmente atravesada por el mismo flujo que las espiras del primer ca-

rrete, y, como estas últimas, es asiento de una fuerza electromotriz inducida, igual todavía a u voltios, puesto que el flujo que varía es el mismo para esta espira que para las del primer carrete. Pero aquí ella no se opone a ninguna diferencia de potencial y da lugar, si la espira está cerrada sobre un circuito, a una corriente. Supongamos entonces que haya N_2 espirales idénticas en serie: se dispone entonces de la suma de estas fuerzas electromotrices inducidas, en los bornes del carrete formado por estas N_2 espiras. La diferencia de potencial U_2 será:

$$U_2 = N_2 u = N_2 \frac{U_1}{N_1}$$

de donde:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Se ha transformado así la diferencia de potencial U_1 en una nueva diferencia de potencial U_2 . La relación de estas diferencias de potencial es la *relación de transformación*. La igualdad anterior nos demuestra que la relación es igual a la del número de espiras del segundo carrete respecto al número de espiras del primero.

Tomemos un ejemplo, para fijar ideas, y supongamos que se dispone de una tensión de 12.000 voltios que se quiere transformar en 120 voltios. El transformador será un *transformador rebajador de tensión*. Si el número de



espiras del primer carrete es de 1.000, el número del segundo es de 10. En efecto, la fuerza electromotriz inducida por espira debe ser igual a la diferencia de potencial aplicada a los bornes de una espira del primer carrete,

$$\text{o sea } \frac{12.000}{1.000} = 12 \text{ voltios ;}$$

como esta fuerza electromotriz es la misma en todas las espirales arrolladas alrededor del mismo núcleo, para disponer de 120 voltios bastará montar en serie 10 espiras. El segundo carrete, así, constará sólo de 10 espiras. Ajústase perfectamente esta deducción a la fórmula de la relación de transformación. Se tiene, en efecto :

$$\frac{120 \text{ voltios}}{12.000 \text{ voltios}} = \frac{10 \text{ espiras}}{1.000 \text{ espiras}} = \frac{1}{100} ;$$

por consiguiente, $\frac{1}{100}$ es la relación de transformación.

El raciocinio sería el mismo para un *transformador elevador de tensión*.

Se llama *circuito primario* o *devanado primario* de un transformador el circuito a cuyos bornes se aplica la tensión que se trata de transformar ; el devanado en cuyos bornes se dispone de la diferencia de potencial transformado es el *devanado secundario*.

Si la tensión es transformada por estos aparatos, la intensidad de la corriente cuya tensión ha sido transformada es la misma en los dos

circuitos primario o secundario, pero la transformación de la intensidad tiene lugar en relación inversa de la del potencial. Si I_1 e I_2 representan respectivamente las intensidades de la corriente en los dos circuitos, se tiene :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

lo cual se puede escribir :

$$U_2 I_2 = U_1 I_1$$

Ahora bien, el primer miembro de esta relación, $U_2 I_2$, es la potencia producida por el devanado secundario, mientras que el segundo miembro, $U_1 I_1$, es la potencia absorbida por el devanado primario. Estas potencias son iguales, en una primera aproximación, si se desprecian las pérdidas en el transformador. Se puede definir esta relación del modo siguiente : lo que se pierde en tensión se gana en intensidad de la corriente e inversamente.

Si representamos el ejemplo numérico precedente, y si admitimos que la intensidad de la corriente en el secundario, I_2 , debe ser de 500 amperios, será de 5 amperios solamente en el primario, de manera que :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{5}{500} = \frac{1}{100};$$

de aquí podemos deducir :

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

relación que se puede escribir

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 ;$$

dejando al lector que desee profundizar el estudio de los transformadores el trabajo de buscar la significación física de esta última igualdad.

Para las aplicaciones prácticas basta recordar las relaciones siguientes :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} ;$$

relaciones que se traducen así :

1.º Circuito de tensión elevada : gran número de espiras y conductores delgados, puesto que la intensidad de la corriente es relativamente débil.

2.º Circuito de tensión débil : pequeño número de espiras y conductores gruesos, puesto que la intensidad de la corriente es muy grande.

Todos los raciocinios expuestos más arriba se refieren a la corriente alterna monofásica.

Si se trata de redes de corrientes difásicas y trifásicas, se podrá aplicar a cada fase lo que acabamos de exponer para la corriente monofásica, y agrupar en un solo aparato los carretes correspondientes a las dos o tres fases (figura 76).

Los núcleos de hierro, alrededor de los cuales están dispuestos los carretes, están en general enlazados entre sí, por láminas de hierro

igualmente, de manera que se evite toda pérdida de flujo; se forma así un circuito cerrado, en el que quedan concentradas las líneas de fuerza de flujo magnético. En caso que se trate de aparatos de corriente trifásica, hay tres nú-

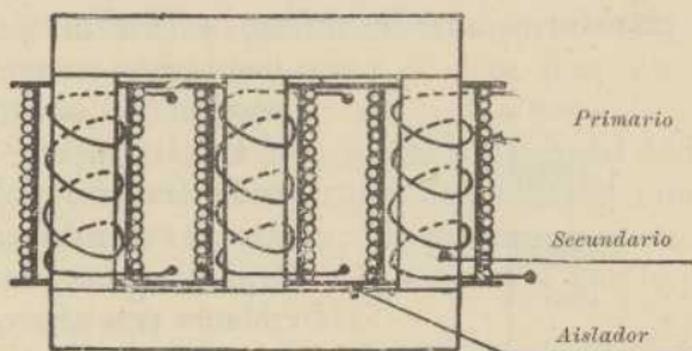


Fig. 76. — Transformador trifásico.

cleos, correspondiente cada uno a una fase, y un circuito magnético igualmente cerrado.

Empleo de transformadores estáticos.—Vamos a estudiar el empleo de los aparatos que acabamos de describir: en las estaciones centrales estos aparatos están destinados a elevar la tensión obtenida en los bornes de los alternadores; en las estaciones secundarias, o sobre la red, rebajan la tensión en los bornes de los aparatos de utilización; en fin, sobre los cuadros de distribución alimentan los aparatos del cuadro.

I. *En las estaciones centrales.*—La tensión que se puede obtener en los bornes de los alternadores no es muy superior a 12.000 ó

15.000 voltios, a causa de las dificultades que se encuentran para aislar convenientemente los conductores inducidos a tensiones superiores.

Ahora bien, es de gran interés disponer de una tensión más elevada para la distribución de la energía eléctrica sobre la red. Gracias a los transformadores estáticos, se realiza fácil-

mente esta transformación de tensión.

Generalmente, a cada transformador corresponde un transformador de la misma potencia que el alternador; el circuito primario recibe, pues, la corriente del alternador a la tensión obtenida en sus bornes (10.000 voltios, por ejemplo), mientras que la tensión disponible en los bornes del circuito secundario es cuatro, cinco, seis y aun ocho veces más elevada. Aquí se trata de un transformador *elevador de tensión* (fig. 77). Para aislar el circuito de alta tensión se toman precauciones especiales.

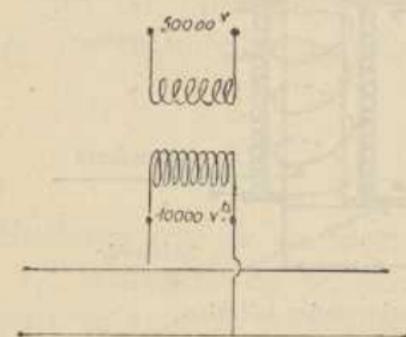


Fig. 77.—Transformador elevador de tensión.

El punto más delicado es el de salida del devanado secundario. Todo el inducido está sumergido en un depósito lleno de aceite. El enfriamiento del aceite se asegura haciendo circular agua a lo largo de las paredes de la cuba o depósito, o mediante una ventilación

apropiada del aparato, difiriendo el sistema de enfriamiento según el tipo de transformadores.

En algunos casos se llega a disponer, en la estación central, de varias tensiones diferentes ; esto ocurre, por ejemplo, cuando la tensión de los alternadores debe ser suficientemente elevada para la alimentación de una parte de la red, mientras que otra parte de ésta necesita una tensión aún mayor.

Será inútil entonces proveer la central de tantos transformadores como alternadores : uno o dos aparatos bastarán, de manera que su potencia total sea igual a la absorbida por la parte de la red considerada.

Por último, si los alternadores producen corriente de alta tensión, se puede rebajar ésta a voluntad, en la misma central, para la alimentación de los servicios auxiliares que en ella sean precisos. Así, se ha de proveer de un *transformador reductor de tensión*.

Entonces el circuito primario está a una tensión elevada, mientras que el secundario está recorrido por una tensión mucho más baja (110, 220 ó 440 voltios). Uno o dos aparatos bastan para esta transformación, siendo la potencia de los mismos la necesaria para atender a los servicios auxiliares, comprendiendo entre estos el alumbrado de la central eléctrica.

Las posibles averías en los transformadores pueden provenir de un defecto del aislamiento, o de una sobrecarga, lo cual da lugar a un calentamiento anormal de los conductores. Este

resulta ora de la ruptura del hilo conductor en el interior de uno de los carretes, ora de un cortocircuito entre un cierto número de espiras. En el primer caso se observa que el aparato deja de funcionar; en el segundo, funciona de un modo anormal: la tensión en los bornes del devanado secundario es inferior a la tensión normal. En ambos casos es difícil que el electricista encargado del aparato pueda reparar la avería inmediatamente, sobre todo cuando se trata de transformadores de muy alta tensión, por lo cual se han de tomar todas las precauciones para su aislamiento.

Así, pues, téngase cuidado de proveer las estaciones centrales importantes de aparatos de reserva idénticos a los ya instalados, lo que permitirá proceder a la reparación del transformador averiado, en condiciones convenientes.

II. *Estaciones secundarias y estaciones transformadoras.*—En las *estaciones secundarias* se transforma la energía eléctrica; regularmente en ellas se recibe corriente alterna y se transforma en continua. La corriente alterna es producida por la estación central, generalmente a una tensión elevada que es preciso disminuir para alimentar los transformadores rotativos de las estaciones secundarias. Por consiguiente, habrá distribuídos en la red varios transformadores *reductores de tensión*: el circuito primario está conectado a la red, y el secundario alimenta la subcentral.

Las *estaciones transformadoras* desempeñan

el mismo papel que las subcentrales o estaciones secundarias; pero en ellas no se transforma la naturaleza de la corriente, sino sencilla-

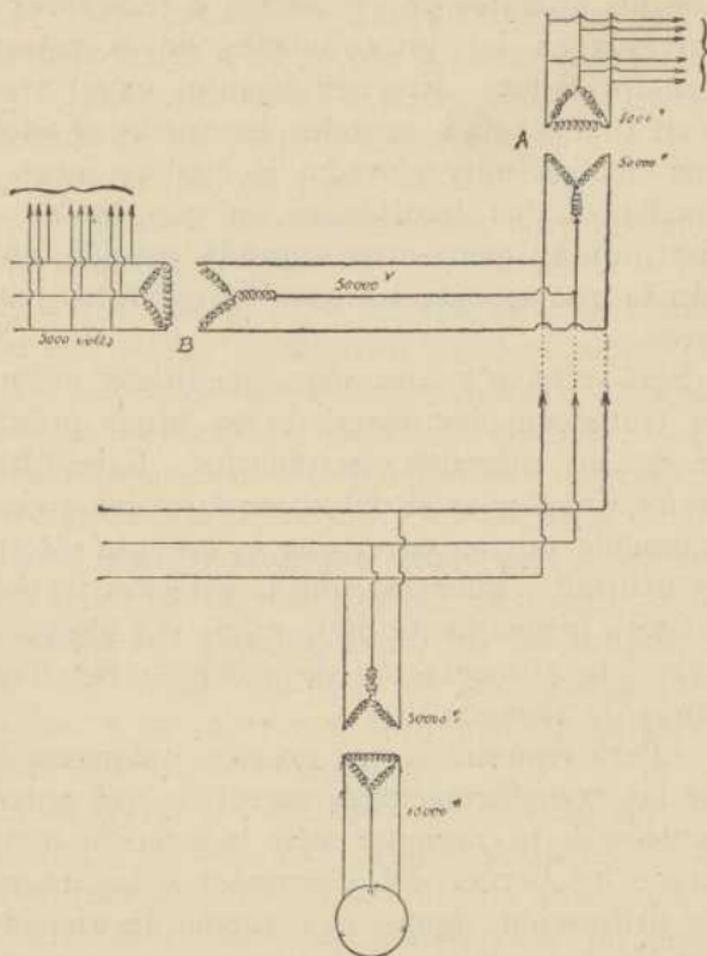


Fig. 78. — Esquema de una distribución de energía eléctrica alterna, poniendo en evidencia el papel de los transformadores.

mente la tensión de la misma. Las estaciones transformadoras, convenientemente repartidas sobre la red, están destinadas a reducir la ten-

sión recibida ; mientras que el circuito primario está conectado con la red de la estación central, el circuito secundario alimenta a baja tensión los aparatos de utilización o receptores repartidos en las proximidades de la estación transformadora. Frecuentemente, en el transporte de energía a grandes distancias se adopta una tensión muy elevada, la cual es luego reducida en las localidades en que ha de ser distribuída ; pero esta segunda tensión no es aún la que se necesita para los aparatos receptores.

Será rebajada aún más, mediante un nuevo transformador instalado en lugar próximo al de los aparatos secundarios. Este último transformador es el del *abonado*, colocado en el inmueble mismo en el que la energía eléctrica es utilizada, mientras que la estación transformadora propiamente dicha tiene por objeto asegurar la alimentación de muchos transformadores de abonado.

Para resumir lo que precede y dar una idea de las transformaciones sucesivas que sufre la tensión de la corriente entre la estación central, desde los bornes del alternador y los aparatos de utilización, damos el esquema de una instalación (fig. 78) que comprende :

- 1.º Un alternador produciendo una corriente de 10.000 voltios.

- 2.º Un transformador situado en la estación central que eleva la tensión anterior hasta 50.000 voltios.

3.º Una línea que transporta la energía eléctrica a dos puntos, A y B, donde hay dos estaciones transformadoras.

4.º Dos estaciones transformadoras que reducen la tensión de 50.000 a 5.000 voltios.

5.º Diversas líneas distribuyendo la energía eléctrica en las localidades próximas a A y B, y a una tensión de 5.000 voltios.

6.º Tantos transformadores de abonados como número de éstos haya, reduciendo la tensión a 220 voltios para los aparatos de utilización (los cuales no figuran en el esquema).

III. *Empleo de transformadores para los aparatos de medida y puesta en marcha.* — En las instalaciones de alta tensión será imprudente conectar directamente sobre los circuitos de alta tensión los aparatos que deben ser accesibles, tales como los de medida, por una parte, y los de puesta en marcha, como los interruptores, por otra. Aquí también, los transformadores, gracias a su extrema simplicidad, permiten evitar este inconveniente.

Si se trata, por ejemplo, de instalar un amperímetro, se monta el circuito primario de un transformador sobre el circuito de alta tensión, en serie sobre éste, de manera que su devanado sea recorrido por la corriente de la línea (fig. 79). El amperímetro está montado en los bornes del circuito secundario. Si se reconoce la relación de transformación del aparato, se determina fácilmente la intensidad de la corriente en la línea, según las indicaciones del

amperímetro. Este está desde luego graduado para funcionar con el transformador y da directamente la intensidad de la corriente en la línea. La ventaja de esta disposición reside en el hecho que el devanado secundario está cuidadosamente aislado del primario, y,

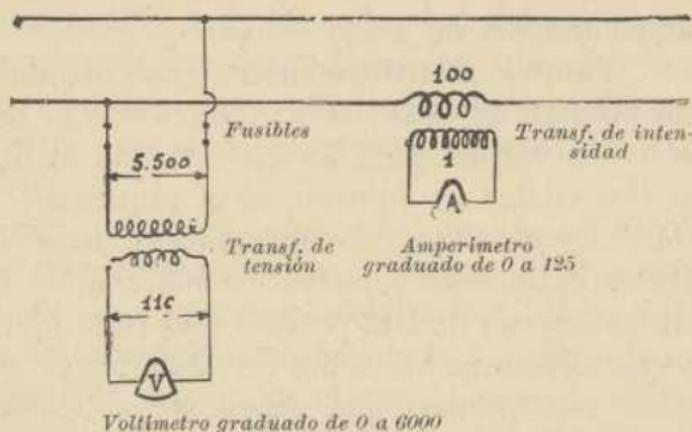


Fig. 79. — Un voltímetro y un amperímetro instalados sobre transformadores.

por consiguiente, el amperímetro no está en contacto con la línea de alta tensión; y, a pesar de esto, sus indicaciones se refieren a la corriente de la línea principal.

El transformador así montado es un transformador de *intensidad*.

Para los voltímetros se ha recurrido igualmente a transformadores cuyo circuito primario está en desviación entre los dos hilos de la línea de alta tensión, en tanto que el circuito secundario alimenta el voltímetro (fig. 79). Aquí también este circuito está aislado del pri-

mero y se pueden, por ejemplo, medir diferencias de potencial mucho más elevadas, con volímetros que sólo funcionarían para tensiones máximas de 150 voltios. Estos transformadores se llaman *transformadores de medida*.

Los dos ejemplos anteriores bastan para poner en evidencia el interés que presentan los transformadores cada vez que se trate, por una u otra razón, de reducir la tensión de la línea.

Es evidente que estos transformadores de intensidad y de medida son aparatos de reducidas dimensiones, capaces de desarrollar estrictamente la potencia, muy débil, que se necesita para alimentar los aparatos de medida. Cuando la tensión es muy elevada (sobre 6.000 voltios) los devanados están sumergidos en aceite.

Transformadores rotativos. — Están destinados frecuentemente a transformar la corriente alterna en corriente continua. Para llevar a cabo esta transformación se recurre al empleo de los *convertidores* o *conmutatrices*.

Los *grupos convertidores* están formados por dos máquinas, generalmente acopladas entre sí; una es un motor de corriente alterna alimentado por la corriente de la red, y que obliga a funcionar a una máquina. Esta engendra la corriente continua que se propone utilizar.

Se da el nombre de conmutatriz a una máquina que es a la vez máquina motriz y generatriz: esta máquina recibe la corriente alterna y funciona como un alternador que en lugar

de engendrar corriente la produjese, es decir, obra como *motor sincrónico*; es preciso observar aquí que, contrariamente a lo que sucede en los alternadores modernos, el devanado inducido es móvil, mientras que el inductor es fijo. El inducido lleva dos anillos rozantes, si la corriente es monofásica, cuatro si es difásica, y tres o seis si es trifásica. En el caso de tener seis anillas rozantes, se dice que el devanado de la conmutatriz es *exafásico*. Al otro lado del inducido está montado un colector, sobre el cual se apoyan escobillas, como en los generadores de corriente continua. El inducido, girando en un campo magnético inductor bajo la acción de una corriente alterna, produce corriente continua, la cual se recoge en las escobillas.

La cuestión del arranque de las conmutatrices presenta alguna dificultad: la conmutatriz, en tanto que máquina motriz, es alimentada, lo más frecuentemente, por corriente alterna, y funciona, según hemos dicho, como motor sincrónico, es decir, girando rigurosamente a una misma velocidad, la cual hemos definido estudiando el acoplamiento en paralelo de dos alternadores. Ahora bien, para conectar la máquina a la línea *es preciso que haya alcanzado esta velocidad*; en otras palabras, es preciso ponerla en marcha previamente, no directamente, porque no es posible, por un procedimiento cualquiera. Las soluciones más a menudo adoptadas son las siguientes:

1.^a Se monta sobre el árbol de la conmutatriz un pequeño motor de corriente alterna, asincrónico, de campo alterno, que arranca sin dificultad y arrastra en su movimiento a la conmutatriz.

2.^a Se puede poner en marcha la conmutatriz haciéndola funcionar como motor de corriente continua; a este fin, se dispone en la subcentral una batería de acumuladores.

3.^a Se puede hacer funcionar la conmutatriz como un motor asincrónico, haciendo que la armazón de la máquina funcione como el devanado del rotor en los motores asincrónicos ordinarios.

Cualquiera que sea el sistema de arranque adoptado, es preciso, después de esta primera operación, acoplar la máquina con la red de alimentación, tomando para ello las mismas precauciones que para el caso de acoplar dos alternadores.

Hemos de advertir que se busca el modo de transformar la corriente alterna en continua sin recurrir al empleo de los transformadores rotativos; mientras sólo se utilicen para esta transformación los fenómenos de inducción electromagnética, es necesario disponer de una máquina que lleve un órgano móvil, tal como el colector o cualquier otro órgano que lo reemplace. Pero se pueden considerar otras acciones de las corrientes eléctricas, principalmente su acción sobre líquidos o gases.

De experimentos hechos sobre este particular



resulta que, según la naturaleza del líquido o del gas que constituye el conductor, la corriente sólo se establece en un sentido ; en otras palabras, cada extremo conserva su polaridad, y cuando se invierte el sentido de la corriente desaparece ésta como si se hubiese abierto el circuito en el líquido o gas. Se utiliza tal propiedad para transformar la corriente alterna en otra, que no es rigurosamente continua, pero que lo parece : a esta corriente se la llama *rectificada*.

El circuito alimentado por un aparato de esta naturaleza es recorrido por una corriente cuyo sentido, ya que no su valor, es el mismo.

Se han construído *rectificadores de vapor de mercurio*, en los que las potencias desarrolladas alcanzan el orden de magnitud de las potencias puestas en juego en las distribuciones de energía eléctrica.

CAPITULO X

CUADROS DE DISTRIBUCION

A. — DISPOSICION DE LOS APARATOS

La energía eléctrica producida por las máquinas generatrices, sean éstas dinamos, o alternadores, debe distribuirse por toda la red, y en condiciones convenientes. Ahora bien, importa que en la estación central, y eventualmente en las subcentrales, puedan darse cuenta perfecta del modo como funcionan las máquinas productoras de la corriente, por una parte, y los aparatos receptores que la utilizan, por otra. Es preciso disponer de medios que permitan regular las condiciones de marcha y en particular de puesta en marcha y fuera de circuito de una o muchas máquinas, o una o muchas líneas de alimentación; se emplean para ello algunos aparatos que forman parte integrante de la instalación. Los aparatos necesarios pueden clasificarse en las siguientes categorías, según el papel que desempeñan :

- 1.º Los aparatos de puesta en marcha.
- 2.º Los aparatos reguladores.
- 3.º Los aparatos de protección.
- 4.º Los aparatos de medida.

Aparatos de puesta en marcha. — Estos aparatos llevan el nombre de *interruptores* (fig. 80). Están formados, en principio, por dos láminas fijas de cobre o latón de espesor conveniente, y de una pieza conductora móvil, que establece

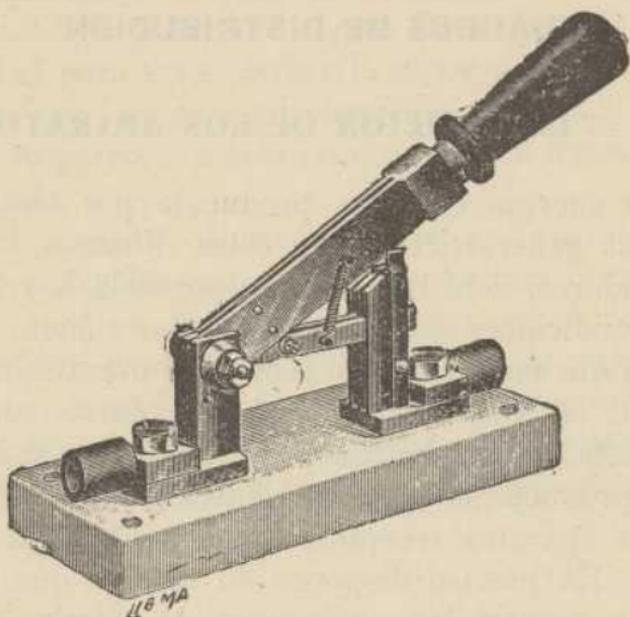


Fig. 80. — Interruptor de ruptura brusca.

el enlace entre las dos láminas ya mencionadas; entonces se dice que el interruptor está *cerrado*. Cuando está *abierto*, la pieza móvil no está ya en contacto con las dos susodichas láminas, o tan sólo está en contacto con una de ellas; es decir, el enlace está suprimido. Como este aparato está montado en serie sobre el circuito que está destinado a poner en funcionamiento, se comprende que el circuito está abier-

to cuando el interruptor está abierto, y cerrado si el interruptor está cerrado.

Si se quiere asegurar el aislamiento completo de la máquina que hace poner en marcha el interruptor, será preciso enlazar cada uno de los bornes de aquélla, mediante un alambre conductor, con un interruptor semejante, al que hemos descrito.

Los interruptores están agrupados de tal manera (fig. 81) en un solo aparato, que la maniobra de los órganos móviles de los mismos se

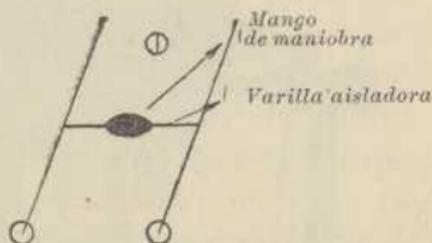


Fig. 81. — Interruptor bipolar.

realice en una sola operación; en este caso el interruptor se llama *bipolar*, por haber dos órganos móviles y, por consiguiente, cuatro láminas fijas; *tripolar*, si hay tres órganos móviles; y *tetrapolar*, si hay cuatro. Los dos, tres o cuatro órganos móviles están aislados entre sí, desde el punto de vista eléctrico, pero unidos desde el punto de vista mecánico, de manera tal, que con una sola maniobra se corte o se cierre el circuito mediante el aparato en cuestión.

Se pueden clasificar los interruptores destinados a instalaciones de alto potencial, es decir, a las instalaciones cuyo estudio nos ocupa, en dos categorías principales, según la tensión de la distribución, o más exactamente, según

la diferencia de potencial entre los conductores que constituyen la línea, y entre los cuales está montado el interruptor. Distinguiremos los apa-

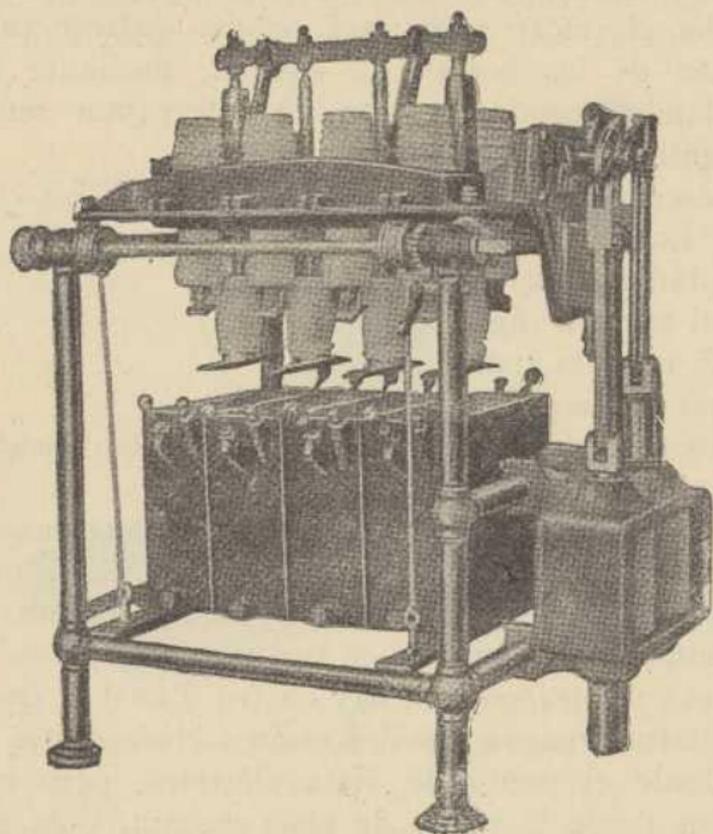


Fig. 82. — Disyuntor de alta tensión, de puesta en marcha a distancia.

ratos de baja de los de alta tensión, entendiéndose por alta tensión la que sea superior a 1.000 voltios.

En los interruptores a baja tensión el órgano móvil está formado por una lámina de cobre,

uno de cuyos extremos está montado sobre un eje, que reposa a su vez sobre dos contactos fijos (fig. 80); está lámina de cobre gira alrededor de este eje, y el otro extremo de ella penetra entre dos mandíbulas, también de cobre, con frotamiento suave, que constituye el segundo contacto.

Si el interruptor tiene un solo órgano móvil, es decir, es unipolar, la lámina de cobre está terminada en un puño o mango de madera, aislante, para poder hacer funcionar el aparato. Si el interruptor es bipolar, tripolar o tetrapolar, los dos, tres o cuatro órganos móviles están unidos entre sí y sujetos por una barra de una substancia aislante, como madera o fibra, que los hace solidarios, y sobre esta barra va fijo un puño que permite maniobrar y mover todas las láminas simultáneamente.

Los contactos fijos están montados sobre una placa de mármol, o de pizarra, y el aparato es fácilmente asequible.

En los interruptores de alta tensión es preciso tomar precauciones especiales para proteger al personal encargado del manejo del aparato, y para amortiguar el arco de ruptura que se produce entre el contacto fijo y el móvil. Ya hemos indicado la existencia de una chispa eléctrica, cuando se corta o abre el circuito, chispa que salta en el punto en que se rompe el contacto entre los dos extremos de los conductores separados; la chispa es una especie de camino que se abre la corriente eléctrica a tra-



vés del aire aislante, que separa los conductores. Esta chispa es tanto más intensa, cuanto mayor es la tensión y la intensidad de la corriente; en el caso de que ésta tenga una potencia muy elevada, dicha chispa se convierte

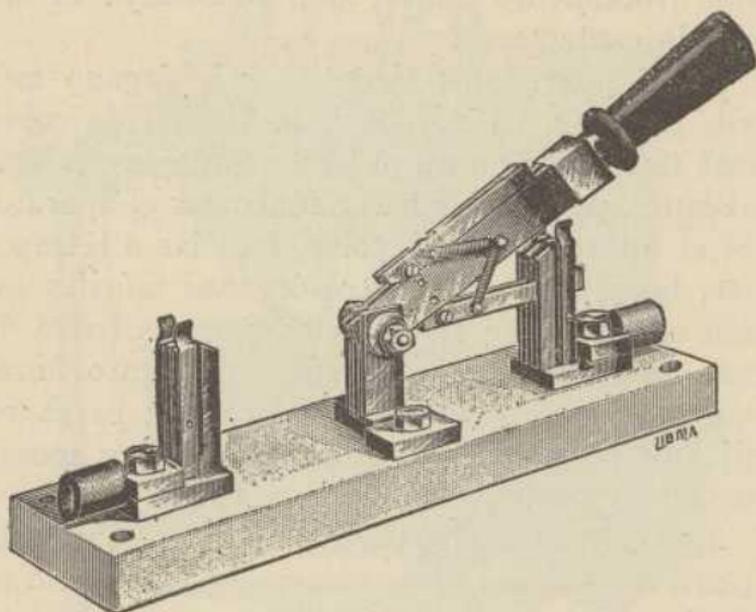


Fig. 83. — Inversor unipolar.

en un arco. Ahora bien, si el arco se produce en el aire, modifica el estado de las capas de inmediatas y puede saltar entre dos líneas vecinas, pudiendo resultar un cortocircuito peligroso para las máquinas. Así, pues, se ha de procurar colocar los contactos fijos y móviles de los interruptores de alta tensión dentro de una cubeta llena de aceite (fig. 82); el aceite tiene por objeto amortiguar el arco. Los órga-

nos móviles de estos interruptores, que pueden ser unipolares, bipolares, tripolares, o tetrapolares, como los de baja tensión, pueden ser manejados a distancia por un sistema de palancas

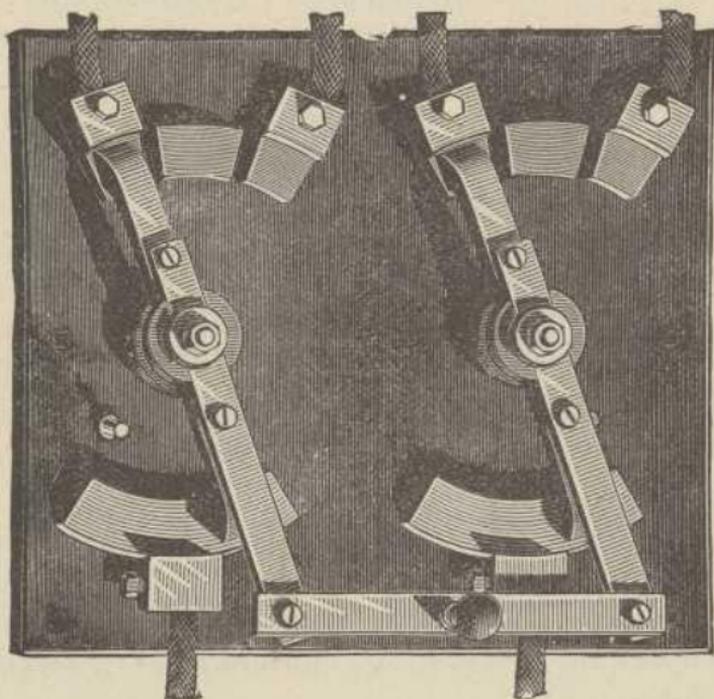


Fig. 84. — Conmutador bipolar de dos direcciones.

o cadenas, o bien por un pequeño motor que transmite su movimiento mediante un sistema de bielas. En el primer caso, a un desplazamiento calculado del manipulador corresponde el movimiento deseado de los contactos móviles que provocan la apertura o el cierre del circuito.

Si el funcionamiento o puesta en marcha de

estos contactos se asegura por un pequeño motor, llamado *servomotor*, que se pone en marcha mediante un pequeño interruptor que puede colocarse alejado, es decir, a una distancia conveniente del motor, si es preciso. Una y otra disposición permiten efectuar la maniobra a distancia del interruptor, condición que debe llenarse en toda instalación de alta tensión, puesto que interesa sobremanera que los aparatos de esta clase no sean fácilmente asequibles.

Hemos de hacer notar que cuando la tensión es superior a 20.000 voltios, se habrá de instalar una cuba de aceite para cada interruptor de la línea; si la tensión es inferior a la indicada, bastará un solo recipiente para los dos, tres o cuatro interruptores unipolares que constituyen el aparato.

Como aparatos de puesta en marcha se pueden citar, a más de los interruptores, todos los que se derivan de éstos, que se conocen con los nombres de *inversores*, *conmutadores* y *seccionadores*.

Un *inversor* es un interruptor combinado, para poder invertir el sentido de la corriente de la línea sobre la que está intercalado, mediante una sencilla maniobra (fig. 83).

En principio, el inversor comprende un órgano móvil para cada línea y tres contactos fijos; el órgano móvil, siempre unido o enlazado a uno de los contactos fijos, establece la conexión entre este contacto y uno u otro de los otros dos.

Mediante un *conmutador* (fig. 84) se cambia no sólo el sentido, sino la dirección de la corriente. Los conmutadores son bipolares, o tripolares, según la naturaleza de la corriente que recorre el circuito; a cada línea corresponde un contacto fijo, constituido frecuentemente por

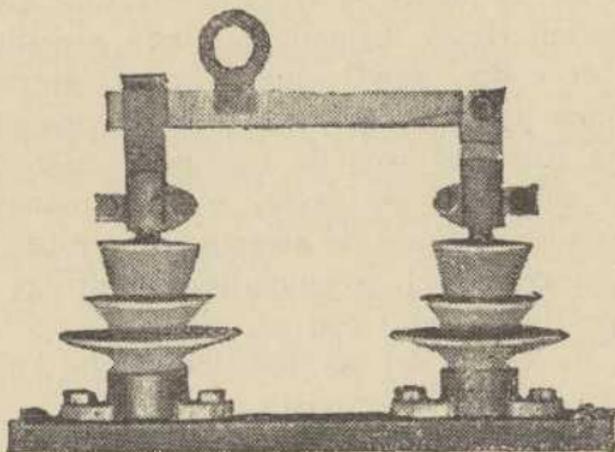


Fig. 85. — Seccionador.

una corona anular, sobre la cual hay un frota-dor que puede girar alrededor de un punto, y que establece el enlace entre la corona y un contacto fijo igualmente; hay tantos contactos fijos, cuantas líneas de dirección diferente existen.

En fin, se llama *seccionador* (fig. 85) a un interruptor destinado a líneas de alta tensión; el seccionador difiere del interruptor propiamente dicho, por el hecho de que jamás se manipula cuando la línea está cargada: se asegura la interrupción del circuito mediante un inte-

ruptor de aceite, semejante al que ya se ha descrito, antes de quitar el seccionador: del mismo modo se tendrá la precaución de no colocar en su lugar el seccionador sino después de asegurarse de que el interruptor está abierto. El seccionador permite aislar sectores de las líneas en los cuales se trata de efectuar alguna reparación. Está formado por una sencilla lámina de cobre, móvil, que se monta entre dos contactos fijos; no es preciso tomar precaución alguna sobre el arco de ruptura, puesto que, según acabamos de decir, sólo se maneja el seccionador después de abierto el circuito. Para abrir o cerrar el seccionador, se utiliza una pértiga de madera, con un gancho, que la lámina de cobre del seccionador recibe en una argolla de que va provista.

Aparatos reguladores. — En la mayor parte de las redes de distribución de energía eléctrica, según vimos anteriormente, es preciso mantener una tensión constante en los bornes de los aparatos receptores, o lo que es lo mismo en los bornes de las generatrices. Para mantener esta tensión constante se puede ejercer una acción conveniente sobre la velocidad de rotación de la máquina o sobre el flujo inductor. Los aparatos reguladores de tensión son, pues, los *reguladores de velocidad* o los *reguladores de inducción*, destinados a regular la corriente excitatriz, y, por consiguiente, el flujo inductor en la generatriz que de ellos depende directa-

mente. Recordemos que se toman estas disposiciones para mantener constante la velocidad de rotación de las máquinas generatrices, mediante reguladores de velocidad, accionando directamente sobre la máquina motriz (a vapor, gas, o turbina hidráulica).

Se regula entonces la tensión en los bornes, que varía con la carga, haciendo variar la intensidad de la corriente de inducción. Ya hemos indicado el modo de regularla, lo que se consigue accionando un *regulador de inducción*. Mediante un conmutador intercalado en una sola línea, se aumenta o disminuye el número de resistencias en servicio. Este aparato se enlaza en serie sobre el circuito inductor de la generatriz, y se hace funcionar a mano o automáticamente.

Se pueden igualmente hacer comprender en los aparatos reguladores los *reductores de elementos* de baterías de acumuladores, que son asimismo conmutadores mediante los cuales se hace variar el número de elementos en servicio (fig. 86).

Debemos insistir sobre un punto que escapa frecuentemente a la observación: cuando se ha de hacer una distribución prevista para que la tensión sea constante, sólo es regulable esta magnitud, mientras que la intensidad de la corriente no depende sino de las condiciones de funcionamiento de la red, o, más exactamente, de su carga, es decir, de la potencia exigida por los aparatos receptores.

En otras palabras, la intensidad de la corriente marcada y leída en los amperímetros de una central eléctrica depende de lo que ocurre en la red. Si se mantiene, pues, la tensión constante, el único medio para regular la intensi-

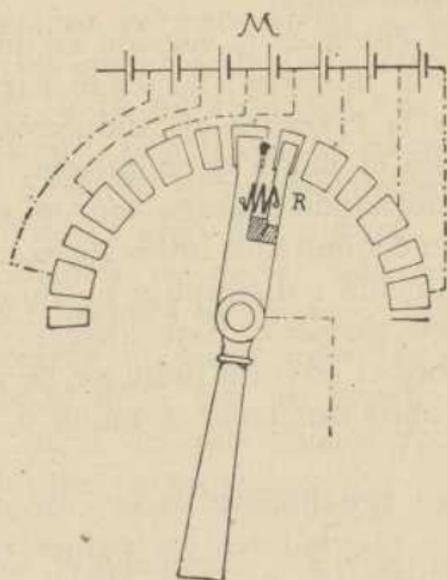


Fig. 86. — Reductor de resistencia.

dad de la corriente consistirá en poner en servicio o desconectar los aparatos receptores de la red, modo éste de regular muy impropio. La única medida de precaución que se puede tomar en la central eléctrica es la que consiste en impedir que la intensidad de la corriente alcance un valor superior a la que pueden producir las generatrices.

Aparatos protectores. — Las máquinas y aparatos receptores deben estar protegidos contra

una elevación o aumento anormal de intensidad y contra las hipertensiones.

De la observación que acabamos de hacer resulta que el único medio de que se puede disponer para evitar los accidentes que pueden resultar de una elevación de intensidad superior

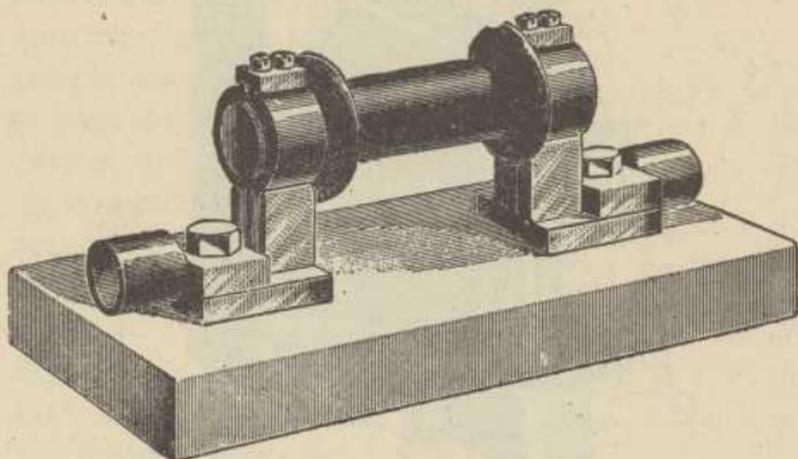


Fig. 87. — Cortacircuitos.

al valor normal es el que consiste en provocar la ruptura del circuito en que se produce esta elevación de intensidad. El aparato más sencillo para ello es el *cortacircuitos fusible*, cuyo nombre define su objeto y modo como funciona (fig. 87) : la ruptura del circuito se asegura por la fusión de un conductor, en serie con el circuito, que está convenientemente calculado para que la corriente de intensidad superior a la normal produzca su fusión. Está constituido por un hilo o barrita de plomo, aluminio, plata o cobre, montado entre dos contactos. Desgra-

ciadamente es difícil prever el valor exacto de la intensidad de la corriente por la cual se fundirá el cortacircuitos: este valor depende no

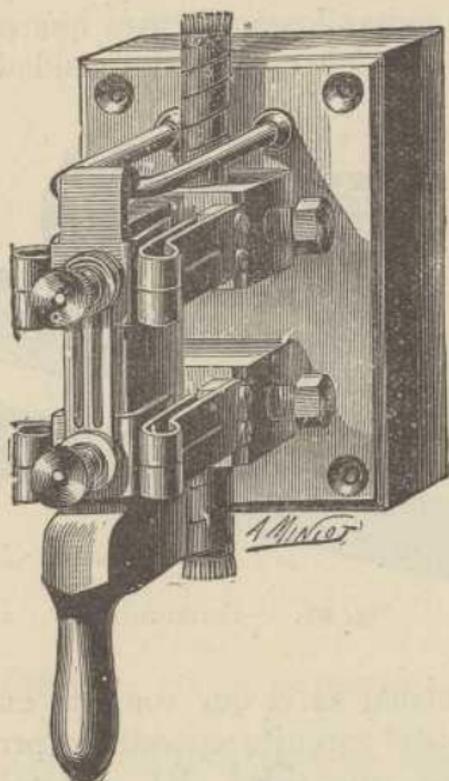


Fig. 87 bis. — Cortacircuitos.

sólo de las condiciones en que está montado el aparato, de la resistencia en los puntos de enlace con los contactos mismos, sino también del valor de la intensidad de la corriente que ha recorrido el fusible, antes de fundirlo.

Supongamos, por ejemplo, un fusible destinado a ser recorrido por una corriente de 100

amperios de intensidad y que se ha de fundir a una corriente de intensidad superior a 120 amperios. Se fundirá más fácilmente sometido a esta intensidad, después de haber sido recorrido durante algunas horas por una corriente normal de 100 amperios, que si antes de someterlo a 120 amperios hubiese sido sometido a una corriente muy débil, casi nula. Estará más cerca de su temperatura de fusión en el primer caso que en el segundo, y puede aún en el segundo caso, no llegar a alcanzarla de un golpe, sino llegar a la misma después de transcurrido un tiempo, relativamente largo.

Este sistema de protección está indicado si es suficiente para asegurar la ruptura inmediata de un circuito en caso de cortocir-

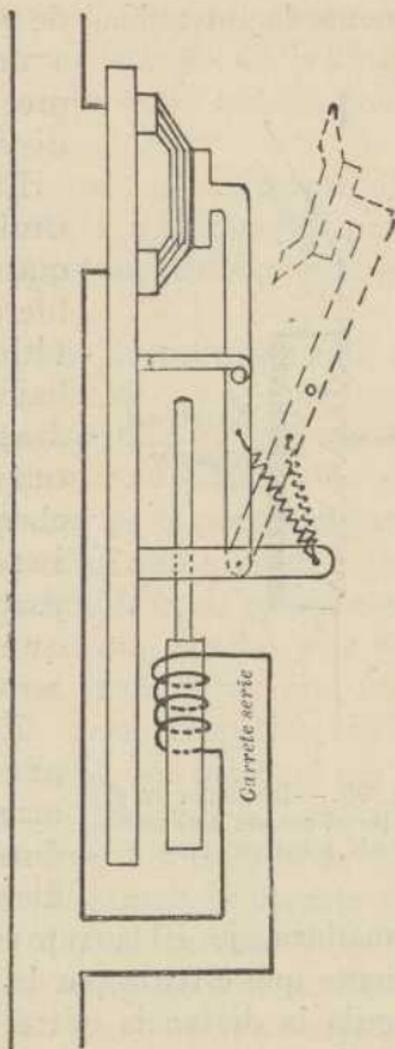


Fig. 88. — Esquema de un disyuntor de máxima.

Línea



cuito: la intensidad de la corriente en este caso es entonces notablemente superior a la normal. Pero cuando es preciso regular exactamente la intensidad de ruptura, cabe recurrir a un dispositivo de más precisión: el *interruptor disyuntor*.

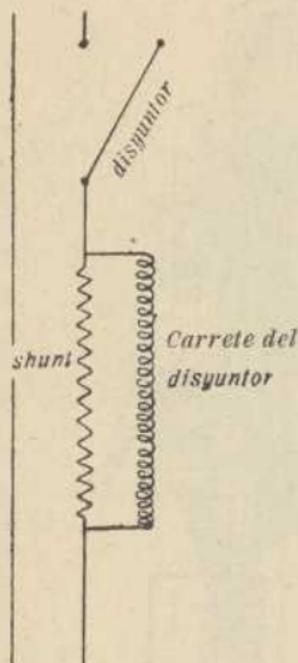


Fig. 89.—Disyuntor en el que el carrete está montado sobre un shunt.

Este aparato está constituido por un electroimán que atrae un núcleo de hierro dulce móvil: este último en su movimiento, bajo la acción del campo magnético del electroimán, provoca por un choque el disparo de un interruptor que forma parte del circuito y en el que está intercalado en serie.

El electroimán comprende una armadura magnética fija, una armadura móvil y un carrete dispuesto alrededor de la

armadura fija. El carrete está recorrido por la corriente que circula por la línea que protege. Se regula la distancia entre la armadura fija y la móvil, distancia a la que se da el nombre de *entrehierro*. Cuanto más grande es el entrehierro, más se ha de elevar la intensidad de la corriente para que la armadura fija pueda ejercer una ac-

ción sobre el núcleo de hierro móvil ; por consiguiente, regulando el entrehierro, se regula la *intensidad de la corriente de disparo o arranque*. No es preciso que el carrete sea atravesado por la totalidad de la corriente de la línea : basta con que una fracción de la misma derive hacia el circuito.

Esta observación tiene un gran importancia cuando se trata de proteger máquinas que producen una corriente de intensidad elevada o de una gran tensión.

Si la línea que se trata de proteger está recorrida por una corriente de 1.000 amperios, por ejemplo, será preciso que el carrete del electroimán del disyuntor esté constituido por un conductor muy grueso, para poder soportar esta corriente de intensidad tan elevada ; pero gracias a la advertencia anterior, se puede adoptar en el carrete un conductor mucho más delgado, por el que sólo se hace pasar una fracción de la corriente de 1.000 amperios. Si se trata de corriente continua, se montará en el circuito un conductor de resistencia conocida, al que se llama *shunt* : en los bornes de esta resistencia (fig. 89) se enlazará el carrete del disyuntor, de manera que el carrête y la resistencia formen dos circuitos derivados, en los que la corriente total se reparta en una relación conocida, que es igual a la relación inversa de las resistencias de ambos circuitos. Supongamos que, en el ejemplo precedente, la resistencia de la porción del conductor (*shunt*), en

cuyos extremos se ha enlazado el carrete del disyuntor, sea de 0,001 ohmios, y la del carrete 0,099 ohmios, o, en cifras redondas, 0,1 ohmios; la relación de las intensidades de las corrientes que por ambos circuitos circula será la siguiente, en la que i es la intensidad en el carrete, e i_s la intensidad del shunt.

$$\frac{i_b}{i_s} = \frac{0,001}{0,099} = \frac{1}{99}$$

Si la intensidad total de la corriente en la línea es de 1.000 amperios, una parte de ella pasa a través del carrete y 99 parte iguales a la precedente, en la resistencia, o sea 10 amperios en el carrete y 990 amperios en la resistencia. Si la corriente total es de 500 amperios, el carrete es atravesado por una corriente de 5 amperios, y la resistencia por otra de 445; de una manera general, la relación $\frac{1}{99}$ queda constante para un aparato determinado.

Cuando la línea está recorrida por corriente alterna, en lugar de un *shunt*, se emplea con preferencia un *transformador de intensidad*. Se puede vacilar entre elegir un shunt y un transformador de intensidad, cuando se trata de corrientes de baja tensión e intensidad elevada: el problema es idéntico al que se presenta en la corriente continua, pero tiene dos soluciones. Ya hemos definido el transformador de intensidad en el capítulo de los transformadores, y

rogamos al lector que lo recuerde: su papel es, en su empleo para el carrete del disyuntor, el mismo que con el amperímetro. Permite, como el shunt, reducir la intensidad de la corriente que recorre el carrete del disyuntor, y en el que la relación de la intensidad de la corriente total depende de la relación de transformación del aparato. Pero tiene además otra ventaja que no tenía el shunt, y es que permite separar netamente el carrete del disyuntor de la línea principal; a esto es debido que se adopte sin vacilar el transformador de intensidad en todas las instalaciones de alta tensión. El circuito secundario del transformador, con el que el circuito primario está en serie sobre la línea que se trata de proteger, alimenta el carrete del disyuntor bajo una tensión débil (fig. 90); este circuito es, pues, aislado de la corriente de alta tensión. Mediante un mecanismo apropiado, cuando la corriente que atraviesa el circuito primario sobrepasa una determinada intensidad, el carrete provoca el escape automático del interruptor, con el que está conectado en serie. En las instalaciones de alta tensión, éste es un interruptor ordinario del tipo ya descrito, y cuyos contactos fijos y móviles están sumergidos en aceite. Ciérrase a mano a distancia, y el escape puede hacerse igualmente a mano, o bien automáticamente, gracias al carrete del disyuntor.

Así, pues, en las instalaciones de alta tensión conviene distinguir las partes del circuito

que están a alta tensión ; a saber, el circuito primario del transformador de intensidad, incluyendo el interruptor, y aquellas que, estando a baja tensión, no son peligrosas y están cuidadosamente aisladas del circuito de alta tensión,

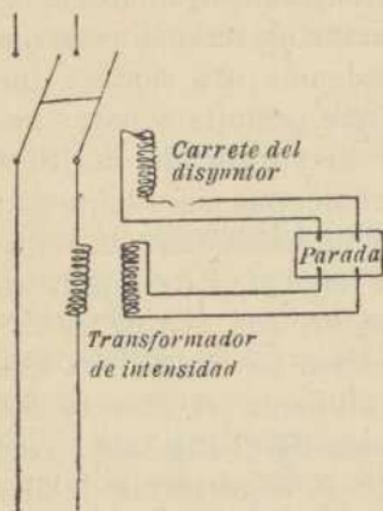


Fig. 90. — Disyuntor en el cual el carrete está montado sobre un transformador de intensidad, con un relevador retardador.

y son el circuito secundario del transformador y el carrete del disyuntor.

El problema de la ruptura de un circuito por una intensidad de corriente superior a la normal es frecuentemente más complicado, principalmente cuando se trata de un circuito que alimenta un gran número de aparatos receptores. Pueden

producirse sobrecargas que solamente son peligrosas cuando duran un cierto tiempo. Es preciso, pues, asegurar el escape del disyuntor a una intensidad determinada, y no en el instante mismo en que se establece el régimen definido por esta intensidad, sino algunos minutos o segundos más tarde, disminuyendo la duración del funcionamiento tolerado cuando la intensidad de la corriente aumenta. Para realizar esta condición se emplea un *retardador*

mecánico o eléctrico, y el disyuntor, provisto así de un interruptor, se transforma en un *disyuntor de acción retardada o diferida*. El principio del retardador mecánico es el siguiente: se actúa directamente sobre el movimiento del núcleo móvil; este núcleo se provee en su extremo inferior de una barrita de latón que lleva una rodaja de cuero (figura 91); esta rodaja está sumergida en un pequeño vaso lleno de aceite. El disco de cuero, arrastrado por el núcleo móvil, cuando es atraído, modera el movimiento, retardando de este modo el escape del aparato, cuyo atraso o aceleración depende de la altura de la columna de aceite que gravita sobre el disco.

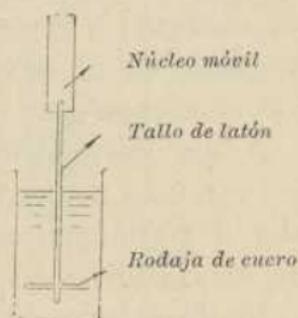


Fig. 91. — Amortiguador de cilindro.

Un reglamento más preciso y exacto se obtiene mediante un retardador eléctrico; este aparato es un *relevador*. En lugar de enlazar el carrete del disyuntor directamente a los bornes de un shunt o de un transformador de intensidad, se monta en un circuito especial en serie con un interruptor (fig. 90); este interruptor funciona automáticamente mediante un relevador, el cual, a su vez, está alimentado por el shunt o por el circuito secundario del transformador de intensidad. Existen muchos

tipos de reveladores retardadores, basados todos en la acción de un electroimán sobre un órgano móvil, que se pone en movimiento cuando la intensidad de la corriente sobrepasa un valor determinado en el electroimán, siendo este movimiento más o menos rápido, según que la corriente alcance una intensidad más o menos elevada ; cuando el órgano móvil llega al fin de su carrera, provoca el cierre del interruptor montado en el circuito del carrete del disyuntor, y escapa éste abriendo el circuito.

A los disyuntores que provocan la ruptura del circuito a una intensidad de corriente superior a la normal se les designa con el nombre de *disyuntores de máxima*.

En el mismo principio están basados los *disyuntores de mínima*, que tienen una gran importancia como protectores de baterías de acumuladores. Estos aparatos aseguran la ruptura del circuito, cuando la intensidad de la corriente alcanza un valor inferior al normal. Para que el interruptor del circuito que se trata de proteger esté cerrado, es preciso que el núcleo móvil del disyuntor sea atraído por la armadura fija, es decir, que la corriente en el carrete del disyuntor tenga un valor suficiente para mantener atraído el núcleo : cuando la intensidad de la corriente desciende a causa de una disminución de tensión, el núcleo móvil cesa de ser atraído y cae ; en su caída provoca el escape del interruptor (fig. 92). Este aparato se instala, por ejemplo, en el circuito de des-

carga de una batería de acumuladores. Si la tensión en los bornes de la batería desciende por bajo de su valor normal, se sabe que los acumuladores trabajan en pésimas condiciones, y que las placas que los constituyen se deterioran y pueden perder la propiedad de acumular energía eléctrica. Gracias al disyuntor de mínima, el circuito se rompe oportunamente.

Mencionaremos aún los *disyuntores de máxima polarizalos*, que son una combinación de disyuntores de máxima y mínima. Estos disyuntores están constituidos por dos carretes, uno en serie sobre el circuito que se trata

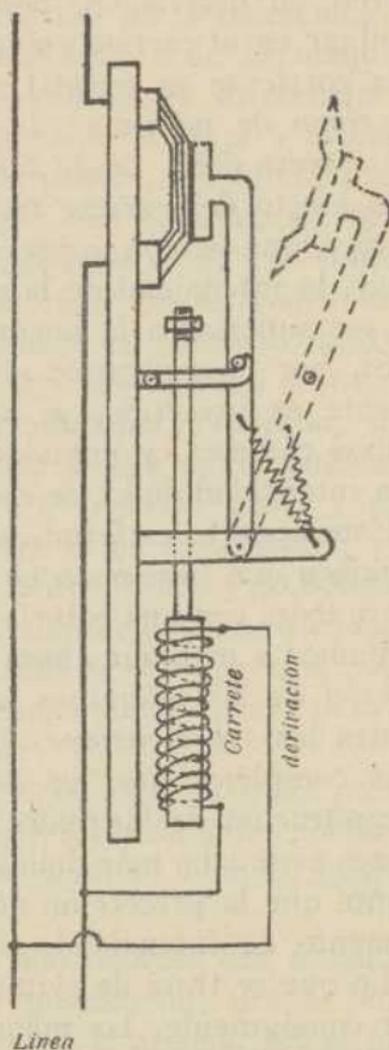


Fig. 92. — Esquema del disyuntor de mínima.

de proteger y otro en derivación entre los bornes de este mismo circuito. Según sea el sentido de la corriente en los dos carretes, sus acciones

sobre el núcleo móvil se suman o restan. La corriente tiene siempre el mismo sentido en el carrete en derivación, pero este sentido puede cambiar en el carrete en serie. Si el sentido de esta corriente es normal, el disyuntor funciona como de máxima; la acción de este último carrete debe, desde luego, anular la acción y el efecto del carrete en derivación antes de ejercer una acción sobre el núcleo móvil; es decir, la intensidad de la corriente entonces ha de ser superior a la normal.

Si, por el contrario, el sentido de esta corriente es invertido, se suman los efectos de ambos carretes, y cuando la corriente alcanza una intensidad débil, se escapa el disyuntor.

Este aparato está indicado para proteger las máquinas que funcionan en paralelo, entre sí, y sobre todo, con una batería de acumuladores.

Vamos a estudiar ahora los aparatos de protección de las máquinas y aparatos receptores contra las *sobretensiones*. Estos fenómenos son más complejos que los de sobreintensidad, y la protección de las redes contra las sobretensiones es mucho más delicada de realizar eficazmente que la protección de las redes contra un aumento de intensidad.

Lo que se trata de evitar es que una línea y, por consiguiente, las máquinas y aparatos enlazados a la misma sufran un potencial superior al que les corresponde normalmente en servicio; si, por ejemplo, se trata de una distribución de energía eléctrica a 110 voltios, se to-

man, para el aislamiento de la línea y de los aparatos, las precauciones que corresponden a esta tensión. En particular si la diferencia de potencial entre los dos bornes de la máquina generatriz es de 110 voltios, la diferencia de potencial entre un punto de la línea y el suelo no será superior a 110 voltios, o a lo más, será igual. Se dice entonces que el potencial de la línea con respecto al del suelo es de 110 voltios, y los aislantes con los cuales están rodeados y envueltos los conductores, en contacto indirecto con el suelo, son suficientes para soportar, entre sus superficies interna y externa, una tensión de 110 voltios, y aun más, pudiendo llegar accidentalmente a soportar hasta 1.000. Si la tensión de distribución es elevada, por ejemplo, comprendida entre 20.000 y 40.000 voltios, se tomarán en consecuencia precauciones, tanto para el aislamiento de los aparatos como para el de la línea, racionando como para la tensión de 110 voltios.

Ahora bien, el potencial de una línea puede elevarse accidentalmente sobre su valor normal ; a esta elevación de potencial se le da el nombre de *sobretensión*.

Las sobretensiones son debidas ora a causas independientes de la instalación, ora a fenómenos que se producen en la misma. En el primer caso la sobretensión está producida por la electricidad atmosférica ; se sabe, por las tempestades, que las nubes pueden cargarse de fluido eléctrico de un potencial superior al del

suelo. La descarga de una nube produce el rayo ; si la línea está en contacto con esta nube, su potencial se eleva súbitamente a un valor que puede ser mucho más elevado que aquel para el cual está construída.

Las sobretensiones internas, que son peligrosas en las instalaciones de alta tensión, obedecen generalmente a fenómenos de autoinducción.

En uno y otro caso importa evitar que la sobretensión se extienda a toda la línea y que alcance o deje sentir su acción sobre las máquinas y aparatos receptores, puesto que estas sobretensiones, a causa de una ruptura del medio aislador, pueden provocar cortocircuitos y poner aquellos órganos fuera de servicio. Tómese, pues, la precaución de montar en derivación, entre cada hilo de la línea y la tierra, los aparatos protectores llamados *pararrayos* y *limitadores de tensiones*.

Estos aparatos son de tal naturaleza, que no permiten pasar corriente alguna entre la línea y la tierra mientras el potencial de la línea es el normal. Si este potencial se eleva es capaz de provocar la formación de un arco o chispas entre los dos órganos que constituyen el pararrayos o el limitador de tensión, y que están separados por un aislante de espesor conveniente.

En los pararrayos de antenas (fig. 93), el aislante es el aire : las dos antenas conductoras comunican respectivamente con la línea y con

la tierra, y la diferencia de potencial entre ambas antenas es igual, por tanto, a la que existe entre la línea y el suelo. Cuando la tensión sobrepasa su valor normal, se forma un arco que cierra el circuito entre la línea y el suelo y asegura así el paso de una parte de la corriente de la red a la tierra, en tanto que la tensión es suficientemente elevada para formar el arco. La cantidad de electricidad aportada por el rayo encuentra así fácilmente camino desde la línea al suelo.

En los limitadores de tensión propiamente dichos se asegura el cierre del circuito entre la línea y el suelo, mediante chispas que saltan entre dos rodillos de cobre recubiertos de crestas, o entre las dos armaduras de un condensador, separadas por un aislante que se rompe a una tensión superior a la normal.

A los aparatos provistos de pararrayos y limitadores de tensión se enlazan en serie resistencias destinadas a evitar que la intensidad de la corriente en el circuito alcance un valor excesivo (fig. 94); cuando salta el arco o las chispas, el circuito, sin estas resistencias, tendría una resistencia despreciable, y podría resultar un cortocircuito más perjudicial aún que la so-

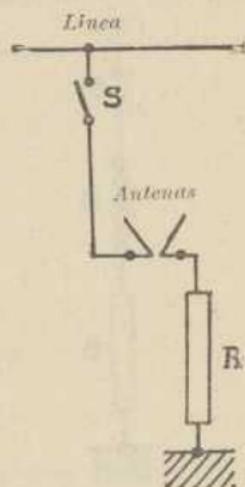


Fig. 93. — Pararrayos de antenas.

bretensión. Gracias a estas resistencias adicionales, de carbón, o líquidas, se reduce la intensidad de la corriente de descarga.

Se preconiza también como protección contra las sobretensiones el empleo de condensadores

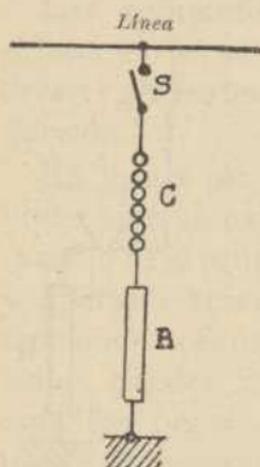


Fig. 94. — Pararrayos de cadena.

montados en batería, a través de los cuales, si la línea tiene un potencial superior al potencial normal, se puede descargar.

Por último, para localizar los efectos de las sobretensiones, se procura disponer, en los conductores que están enlazados con los bornes de los aparatos que se trata de proteger, un carrito de auto-inducción en serie (fig. 95). Este carrito está formando por algunas espiras de un

conductor de la misma sección que la del conductor que constituye la línea y ofrece una resistencia tanto más elevada cuanto mayor es la frecuencia de la corriente. Como las descargas atmosféricas son fenómenos de frecuencia elevada, estos carritos se oponen al paso de dichas corrientes, mientras que su efecto es nulo sobre la corriente continua y la corriente alterna de baja frecuencia.

Aparatos de medida. — No estudiaremos aquí el principio en que se funda su funcionamiento,

y los detalles de construcción de los aparatos de medidas eléctricas, de los que tanto uso se hace en las centrales. Recordaremos sólo que los aparatos necesarios son : los *amperímetros*, *voltímetros*, *watímetros* (estos últimos sólo en las instalaciones de corriente alterna), los *con-*

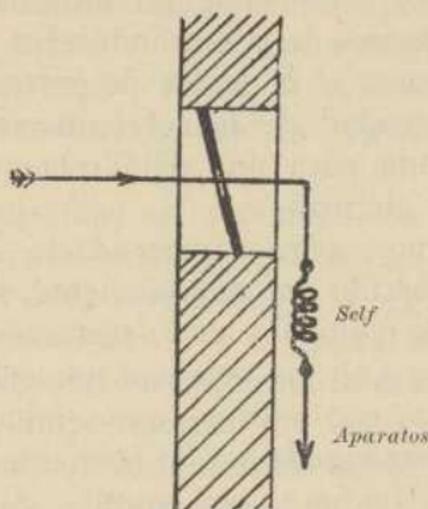


Fig. 95. — Self de entrada de un hilo aéreo.

tadores de energía eléctrica, y eventualmente, los *sincronoscopios*, en las instalaciones de corriente alterna, en las que funcionan varios alternadores acoplados. Estos últimos aparatos son más precisos que las lámparas busca-fases, para la comprobación de la marcha sincrónica, y en fase de dos alternadores; indican, al mismo tiempo, si debe acelerarse o moderarse la marcha del alternador que se quiere acoplar. A estos aparatos de uso frecuente hay que añadir los *frecuencímetros*, que dan directamente

la frecuencia de las corrientes, y los *fasímetros*, que indican el *factor de potencia* de la red. Reordemos que, en el caso de la corriente alterna, la potencia absorbida por el circuito es sólo una fracción del producto de la intensidad de la corriente por la tensión, fracción que es el *factor de potencia* del circuito, dependiente de la importancia de la autoinducción en el mismo; así, pues, si el factor de potencia es débil, la intensidad de la corriente es relativamente elevada para una débil potencia absorbida por el circuito.

Supongamos, para comprenderlo mejor, un circuito recorrido por una corriente de 100 amperios y 220 voltios y cuyo factor de potencia es 0,6 ($\cos = 0,6$). La potencia no será entonces $220 \times 100 = 22.000$ watios, como pudiera suponerse, por semejanza con la corriente continua, sino $22.000 \times 0,6 = 13.200$ watios. Si este circuito llega a desarrollar la misma potencia con la corriente continua, bastará una intensidad de corriente de 60 amperios, bajo la misma tensión.

Estudiaremos también, como aparatos de medida, los *amperímetros* y los *watímetros registradores*: estos aparatos están basados sobre el mismo principio que los aparatos de indicación directa, pero la aguja, en lugar de moverse delante de una escala graduada, se mueve delante de un tambor o cilindro metálico sobre el que va arrollada una hoja graduada. La aguja, provista en su extremo de una pluma estilo-

gráfica muy fina, registra sobre esta hoja las intensidades o las potencias de las corrientes, en cada instante.

Como el cilindro es accionado por un aparato de relojería y funciona con movimiento uniforme, se pueden leer sobre la curva trazada por la pluma las intensidades o potencias de la corriente durante el día, por ejemplo, o durante algunas horas, según la velocidad de rotación del tambor, la cual se regula convenientemente.

Los diagramas así obtenidos son de un gran interés para el conocimiento de las condiciones de marcha de la instalación y la organización de los diversos servicios de la central eléctrica.

Ya hemos dejado expuesta la manera de instalar los amperímetros en los extremos del *shunt*, intercalados en serie sobre el circuito, a fin de que sólo una fracción de la intensidad de la corriente pase por el aparato. Este mismo modo de montaje se ha adoptado para la alimentación de los carretes del disyuntor. En las instalaciones de corriente alterna, principalmente cuando la tensión de servicio es elevada, el *shunt* es reemplazado por el *transformador de intensidad*.

Igualmente el voltímetro está alimentado en las instalaciones de alta tensión por el circuito secundario de un *transformador de medida*, en el que el circuito primario está conectado en derivación con las dos líneas entre las que se quiere medir la diferencia de potencial.

El watímetro, que está formado por un carrete de hilo *grueso* y otro de hilo *delgado*, es un aparato que resulta de la combinación de un amperímetro y un voltímetro (fig. 19). El carrete de hilo grueso, a semejanza de un amperímetro, está conectado a los bornes de un shunt o del circuito secundario de un transformador de intensidad; el carrete de hilo delgado está conectado entre los dos hilos de la línea de alimentación del circuito, como el de un voltímetro, o a los bornes del circuito secundario de un transformador de medida.

A los aparatos de medida propiamente dichos se añaden los de comprobación o *control*, como los *indicadores de sentido de la corriente*, útiles en las instalaciones que tienen baterías de acumuladores, y los *indicadores de aislamiento*, los cuales ponen en evidencia, en la central, cualquier defecto de aislamiento en la línea.

B. — CUADROS DE DISTRIBUCION

Disposiciones generales de los cuadros de distribución. — Se aplica el nombre de *cuadro de distribución* de una central eléctrica al conjunto de todos los aparatos destinados a poner en marcha, regular, proteger y controlar las diversas partes de la instalación. Todos estos aparatos están convenientemente agrupados de manera que el control sea cómodo, la maniobra de los aparatos de puesta en marcha y reguladores sea fácil y la protección de las má-

quinas segura. Cuando se trata de una instalación de baja tensión, principalmente de corriente continua, todos los aparatos pueden montarse sobre planchas de mármol, de manera que resalten y formen lo que se llama, en el sentido verdadero de la palabra, el cuadro de distribución. Pero cuando se trata de instalaciones de alta tensión, peligrosas para el personal, se separan los órganos de puesta en marcha y los de control, que deben ser fácilmente asequibles, de los aparatos de alta tensión. Los primeros pueden aún agruparse en cuadros o pupitres, en tanto que los segundos han de estar colocados a una cierta distancia del cuadro de distribución.

Antes de estudiar la elección de los aparatos y la manera de montarlos, en los casos más corrientes, nos proponemos enunciar algunas reglas, admitidas de un modo general, y aplicables a todas las centrales eléctricas, cualquiera que sea la naturaleza y potencia de la corriente producida en la central. Estas reglas permitirán al electricista, al hallarse frente a un cuadro de distribución que no conozca, conocer y distinguir las partes esenciales.

A cada máquina generatriz de la central le corresponde una plancha o pupitre. Se distinguirán, pues, fácilmente, la plancha de una generatriz de las otras planchas, por el hecho de que todas son idénticas y contienen, en principio :

1.º, un interruptor, bipolar, tripolar o tetra-

polar, según que la generatriz sea de corriente continua o alterna, monofásica, difásica o trifásica ;

2.º, un disyuntor, que en caso de ser la corriente de alta tensión, está combinado con un interruptor ;

3.º, un amperímetro, al menos ;

4.º, un regulador o reóstato de inducción.

Las generatrices están enlazadas, mediante cables o barras de cobre, a estos aparatos y, por último, a las *barras ómnibus* o *barras colectoras*.

Estas barras corren a la largo del cuadro y se distinguen fácilmente de las demás conexiones colocadas detrás del mismo, o en los locales destinados a los aparatos de alta tensión, pues todas las demás líneas terminan o parten de ellas.

Así, pues, buscando estas barras, se facilita la tarea ; así será cómodo ver los conductores que provienen de las generatrices, y se descubrirán los conductores que están enlazados sobre estas barras y representan las *acometidas*.

Cada una o varias de éstas van provistas de una plancha, según su importancia.

Si hay una batería de acumuladores en la central, se reconocerá el cuadro o plancha destinado a la misma, por estar montados en él los interruptores e inversores necesarios y los reductores de elementos.

En un cuadro de distribución están comprendidas las planchas de las generatrices, coloca-

das unas al lado de otras, así como las planchas de las acometidas. A estas planchas se añade la de la batería de acumuladores, y eventualmente un plancha *totalizadora*, en las instalaciones importantes. Sobre esta plancha van montados los aparatos de medida y *control*, que dan las indicaciones según las cuales funciona la instalación; los aparatos de medida que llevan estas planchas están enlazados a las barras colectoras; se destacan, además, un amperímetro, un voltímetro, y eventualmente un watímetro, y un frecuencímetro. Generalmente estos aparatos son registradores.

Instalaciones de baja tensión (corriente continua). — Sólo hablaremos, ahora, de las instalaciones de corriente continua, pues las de corriente alterna suelen ser de alta tensión. Ciertamente existen instalaciones de corrientes alternas de baja tensión, pero son en menor número que las de alta tensión, y desde el punto de vista de la disposición del cuadro de distribución y del modo de montar los aparatos, no difieren gran cosa de las de corriente continua, por cuya razón no nos detendremos en su estudio.

El cuadro de distribución está casi siempre constituido por una placa de mármol, montada sobre brazos metálicos y distanciada del muro de la sala de máquinas lo suficiente para permitir el acceso de conexiones detrás de la misma.

Las barras colectoras son cables, o con pre-

ferencia barras de cobre de sección rectangular, montadas sobre aisladores de porcelana fijados a la pared por un alma metálica.

Para distinguir las dos líneas, la del polo positivo y la del negativo de cada máquina generatriz, se recubren a menudo las barras colectoras, en toda su longitud, de un barniz de colores diferentes según su polaridad; asimismo se pintan las conexiones más importantes.

La sección de estas barras depende de la intensidad de la corriente que ha de producir la central. Se puede admitir una corriente de un amperio por milímetro cuadrado, es decir, la sección deberá ser igual a tantos milímetros cuadrados, cuantos amperímetros correspondan a la potencia de la corriente producida.

En estas barras colectoras se recogen los conductores que provienen de las generatrices y, eventualmente, de la batería de acumuladores, y de estas mismas barras colectoras parten los conductores o *feeders* que alimentan la línea (figura 96).

Las conexiones entre las generatrices y sus correspondientes cuadros se hacen mediante cables aislados, colocados dentro de tubos bajo el piso de la sala de máquinas, o bien mediante conductores aislados, sostenidos por aisladores. Estos conductores llegan a los dos bornes inferiores del interruptor, por detrás de la placa de la generatriz correspondiente, y pasan de aquí, a través de los aparatos destinados a esta máquina, a las barras colectoras.

Las conexiones o enlaces entre los aparatos se hacen mediante barras de cobre desnudas, o cables aislados, y están montadas detrás de la placa.

Se encuentran asimismo detrás de ésta, los shunts de los amperímetros, y, eventualmente, los del carrete del disyuntor, así como

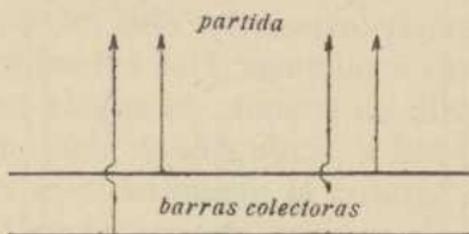


Fig. 96. — Barras colectoras y dos líneas de acometida dirigidas hacia la red.

la resistencia de los reóstatos o reguladores de inducción. Delante de las placas de cada generatriz está montado el volante para la puesta en marcha de este regulador, con o sin el conmutador, mientras que la caja que contiene las resistencias está fijada sobre el suelo o a poca altura sobre el mismo, detrás de la placa (fig. 97).

A las conexiones o enlaces primarios añádense los circuitos que podríamos llamar secundarios, en derivación sobre las líneas principales; estos circuitos son, en primer lugar, el circuito inductor de cada generatriz (cuando la excitación es en derivación, caso el más corriente), el circuito del voltímetro, los circuitos

de los carretes de los disyuntores de mínima o de máxima polarizados, y, eventualmente, el

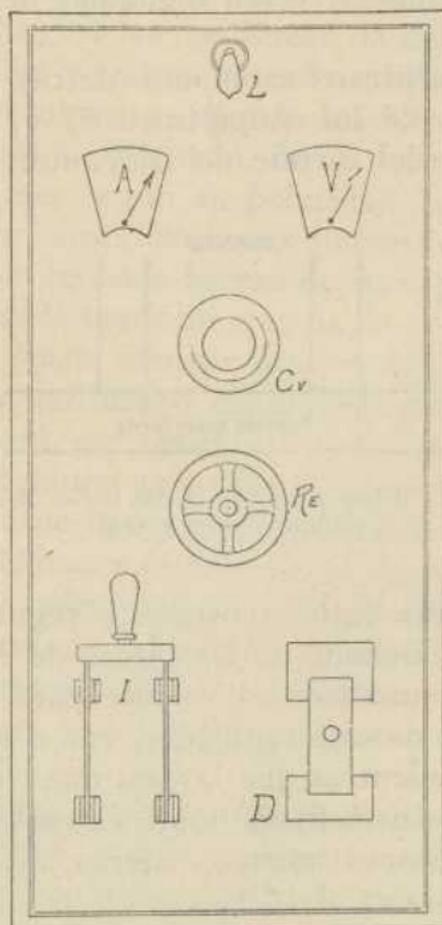


Fig. 97. --- Vista de frente del cuadro destinado a una dinamo: A, amperímetro; V, voltímetro; L, lámpara indicadora; Cv, conmutador del voltímetro; I, interruptor bipolar; D, disyuntor de máxima (eventualmente de retorno de corriente); Re, regulador de excitación.

circuito del carrete de hilo delgado del watímetro o del contador de electricidad, y por último

los circuitos de las lámparas-señales, dispuestas sobre cada placa. Los circuitos en derivación están recorridos por una corriente de intensidad mucho más débil que los circuitos principales: están formados por hilos aislados fijados a la misma placa.

Conviene observar que, aun cuando sean muchas generatrices que funcionan en paralelo, basta tener un solo voltímetro. Sobre el circuito del voltímetro está montado un conmutador bipolar en el que el número de direcciones es igual al número de máquinas, a las que se puede añadir eventualmente la batería de acumuladores. Gracias a este conmutador se puede leer sucesivamente la tensión en los bornes de cada máquina, en tanto que funcionen aisladamente. Si funcionan en paralelo, la tensión entre los bornes de cada una de ellas es la misma que la que existe entre las barras colectoras a que están enlazadas.

Por último, en lo que a la placa o placas de salida de corriente se refiere, se provee cada línea de partida de un interruptor con un cortacircuito o un disyuntor de máxima. Si las líneas de partida son importantes, tienen una gran longitud, y si además la intensidad de la corriente es elevada, en el caso, por ejemplo, de una distribución de corriente a una localidad muy grande, será prudente montar, sobre cada salida, un amperímetro, e incluso un regulador en serie, para regular la tensión en los extremos de la línea. En este caso se dispondrá

de un voltímetro, provisto de un conmutador, siendo suficiente el empleo de uno solo, para

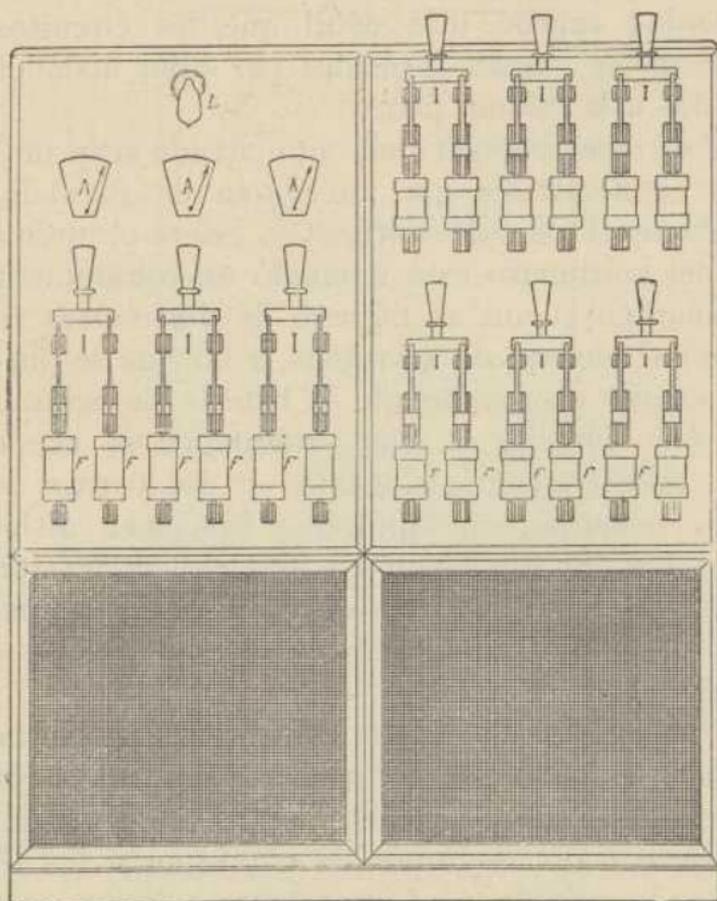


Fig. 98. — Vista de frente de dos cuadros de salida: A, amperímetros; I, interruptores; F, cortacircuitos fusibles.

varios ramales; este voltímetro está enlazado a los *hilos pilotos*, por intermedio de un conmutador; estos hilos de pequeño diámetro parten de los extremos de la línea y sirven para

indicar las variaciones de la tensión, cuando cambia la carga. Será preciso entonces proveer cada ramal de partida de una placa, o bien no emplear una placa para más de dos ramales de salida. Si se trata de la alimentación de una fábrica, por ejemplo, bastará un interruptor para cada línea; se pueden agrupar muchos interruptores sobre una placa, y, según sus dimensiones, montar sobre una misma cuadro, seis, siete e incluso hasta ocho interruptores (fig. 98).

Aconsejamos, pues, al obrero electricista encargado de la observación de un cuadro de distribución de baja tensión, colocarse detrás del cuadro y fijarse ante todo en las conexiones principales; lo primero que verá serán las barras colectoras. Buscará en seguida los conductores que provienen de las generatrices, y descubrirá así tantas placas, cuantas generatrices tenga la central; será fácil seguir estas conexiones desde su entrada en el cuadro, a través de los aparatos, hasta las barras colectoras. Todas las placas de las generatrices deben presentar la misma disposición. Si casualmente, una placa difiere de las otras, es porque la generatriz a la cual corresponde tiene asignado un objeto particular que conviene definir y conocer.

La placa de la batería de acumuladores debe examinarse con atención para darse perfecta cuenta del modo como se carga la batería. Si hay un transformador elevador, accionado por

un motor eléctrico, este grupo tendrá una placa especial, con un reóstato de arranque del motor y un regulador de inducción del transformador elevador.

Por último, siguiendo las barras colectoras, se hallarán al fin las líneas de partida o ramales. Una vez reconocidos los circuitos principales, será tarea fácil seguir los circuitos en derivación y definir el objeto de cada uno.

Si se trata de montar una placa o cuadro de distribución, se sigue la misma marcha, haciendo desde luego el esquema de las conexiones del cuadro: en primer lugar, el esquema de los circuitos principales, y luego el de los circuitos secundarios en derivación.

Instalaciones de alta tensión (corriente alterna). — En estas instalaciones el lugar ocupado por los aparatos es mucho mayor que en las precedentes a causa de la necesidad que hay de separar netamente los circuitos de alta tensión de los aparatos que deben ser accesibles. En las estaciones centrales importantes, los cuadros, que frecuentemente tienen la forma de pupitres, están montados sobre un estrado, de manera que el obrero encargado de su manejo pueda abarcar de un solo golpe de vista la sala de máquinas en su totalidad y las generatrices. Sobre estos cuadros, pupitres o columnas, están fijados los aparatos de medida y control y los volantes o manivelas de los aparatos de puesta en marcha.

Los enlaces, principalmente los circuitos de alta tensión, están instalados en un local o departamento al que está prohibido el acceso, debajo del estrado, y frecuentemente en un sótano. Los circuitos se pueden clasificar en tres categorías; circuitos de alta tensión; circuitos secundarios de baja tensión (alimentados por los circuitos secundarios de los transformadores de intensidad y medida); y circuitos de corriente continua.

Recordemos, en efecto, que en toda central eléctrica es indispensable disponer de corriente continua para excitar los alternadores. A menudo se utiliza la corriente continua para los servicios de la central eléctrica, y en particular si se tiene interés en disponer de una batería de acumuladores para la puesta en marcha de la maquinaria.

No describiremos de nuevo el cuadro de distribución destinado a esta parte de la instalación: en las grandes centrales existe una pequeña central de corriente continua, a la que se puede aplicar cuanto hemos dicho en el párrafo anterior. En lo que a los circuitos de alta tensión se refiere, se encuentra la misma disposición esquemática que en las instalaciones de corriente continua, a saber: barras colectoras que están alimentadas por conductores que enlazan los alternadores por una parte y las líneas de distribución por otra. Los diversos conductores, de sección inferior a los de corriente continua, son hilos conductores, rígidos, desnudos,

montados con el fin de evitar que entre ellos salte un arco. Sobre estos conductores están montados en serie los devanados primarios de los transformadores de intensidad y los interruptores.

Los transformadores están, a menudo, como los interruptores, dentro de un baño de aceite, que asegura así mejor el aislamiento entre el devanado primario y el secundario. Los conductores que parten de los alternadores, que son dos, tres o cuatro, según que aquellos sean de corriente monofásica, difásica o trifásica, enlazan los alternadores a las barras colectoras, pasando por el circuito primario del transformador de intensidad, si la tensión de las barras colectoras es la obtenida en los bornes de las máquinas (fig. 99).

Si la tensión de los alternadores debe ser elevada, lo más frecuente es que cada alternador esté enlazado directamente al circuito primario de un transformador elevador de tensión; a cada alternador corresponde, pues, un transformador, y el circuito secundario de estos aparatos está enlazado a las barras colectoras. En el emplazamiento destinado a los circuitos de alta tensión se pondrán, además de las barras colec-

Epigrafe de la fig. 99. — *A*, amperímetros; *Al*, alternador; *C*, contador; *Cd*, conmutador; *D*, disyuntor; *E*, excitatriz; *En*, excitación del alternador; *fh*, fusibles alta tensión; *fb*, fusibles baja tensión; *Rd*, resistencia de descarga; *RAI*, reostato de excitación del alternador; *RE*, reostato de excitación de la excitatriz; *S*, seccionadoras; *Tm*, transformadores de intensidad para medidas; *Tt*, transformadores de tensión para medidas.

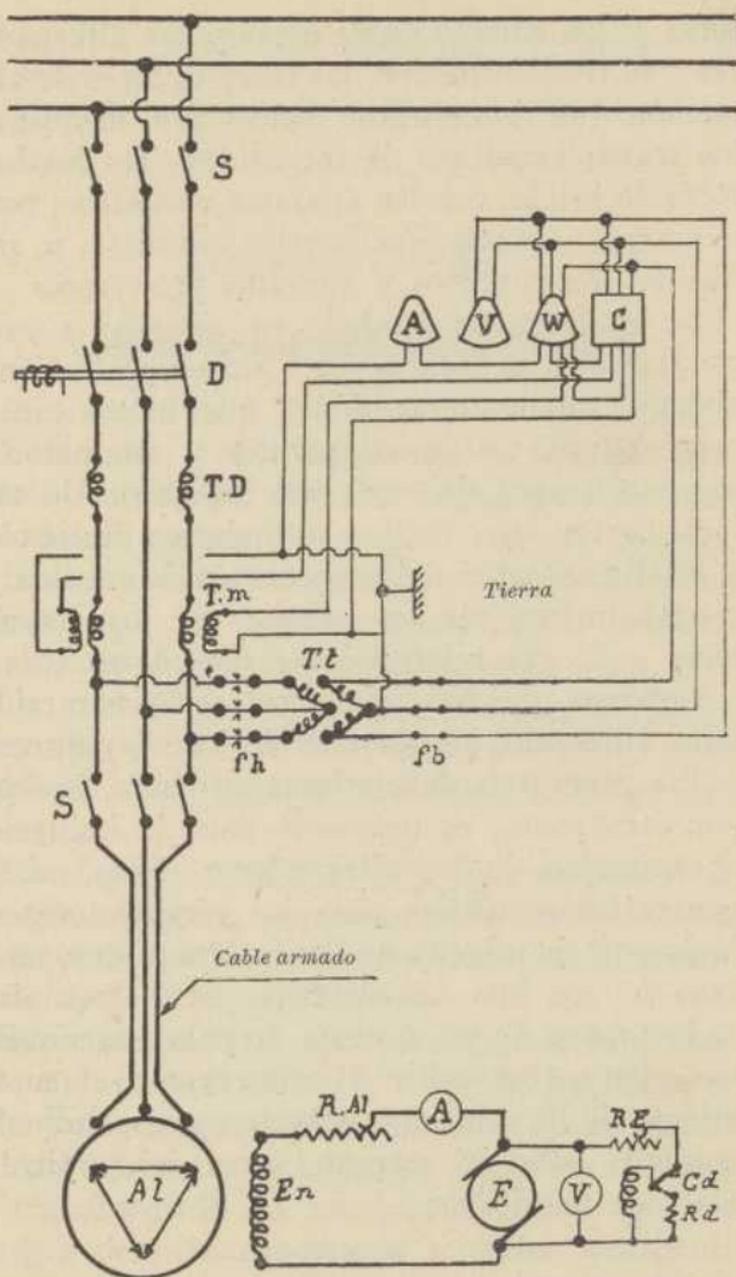


Fig. 99. — Alternador trifásico de alta tensión y sus accesorios.
(Véase el epígrafe en la pág. 342.)

toras y los enlaces entre éstas y los alternadores y el transformador, los interruptores de alta tensión (un interruptor para cada máquina), los transformadores de intensidad, los conductores de salida, con los aparatos necesarios para el manejo y protección de estos circuitos, y, por último, los circuitos y aparatos protectores.

Se ha de tener cuidado en reservar a cada conductor y a cada aparato un emplazamiento aislado, de donde resultará que habrá tantos compartimientos como aparatos y conductores, separados unos de otros por tabiques. De este local parten los circuitos secundarios destinados a la alimentación de los aparatos de medida y, eventualmente, de los carretes de los disyuntores y de sus relevadores retardadores.

Notemos que con frecuencia se ha recurrido, para alimentar los carretes de los disyuntores, a una generatriz de corriente continua, la cual, por otra parte, es necesaria para la inducción o excitación de los alternadores. Esta misma generatriz se utiliza para los servomotores de la puesta en marcha de los interruptores, en el caso de que ésta sea eléctrica. Si es mecánica, se la provee de un sistema de palancas y cadenas, para transmitir al interruptor el movimiento de la palanca o volante correspondiente, montada sobre el estrado, cerca del pupitre o placa de maniobras.

CAPITULO XI

CANALIZACIONES ELECTRICAS

Transporte y distribución de la energía eléctrica.—La energía eléctrica obtenida en los bornes de las generatrices de la central eléctrica es transportada, como hemos visto, a las barras colectoras, y de aquí es repartida a distintos puntos de la red, que pueden estar muy lejos de la central y dispuestos todos en la misma dirección, o bien en direcciones distintas, o diseminados en lugares próximos a la central eléctrica.

En el primer caso se trata de *transportar* la energía eléctrica, antes de *distribuirla*, a los diversos aparatos receptores: esto es el *transporte de la energía eléctrica*.

Supongamos, por ejemplo, que se ha instalado una central eléctrica cerca de un salto de agua para asegurar el alumbrado a una localidad algo distante. La energía del salto de agua es transformada en energía eléctrica, y esta energía debe transportarse a dicha localidad. Habrá entre la estación central y esta localidad una sola línea y, por tanto, un solo ramal de

partida sobre el cuadro de distribución de la central eléctrica. Al llegar la línea a dicha localidad, se bifurcará en muchas ramificaciones, las cuales se repartirán por la ciudad ; entonces

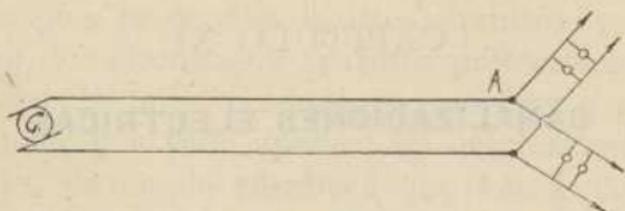


Fig. 100. — Transporte de la energía eléctrica de C a A.

es cuando tiene lugar la *distribución de la energía eléctrica* (fig. 100).

Si, por el contrario, la estación central está en la ciudad, las ramificaciones partirán de la

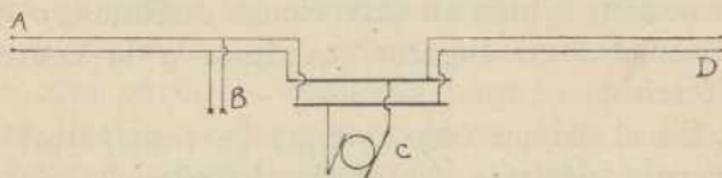


Fig. 101. — Transporte y distribución de energía de C a A, B y D.

estación central misma. No habrá, pues, *transporte* de energía eléctrica, en el sentido estricto de la palabra, sino sólo *distribución* de la misma. Las líneas destinadas a la distribución de la energía eléctrica proceden al mismo tiempo al transporte de esta energía (fig. 101).

La diferencia entre el *transporte* y la *distribución* de energía eléctrica es, pues, sutil, y,

al mismo tiempo, útil. Basta, desde luego, exponer bien el problema para que se encuentre distinción bien neta entre estas dos operaciones.

El enunciado del problema bajo la forma más simple es el siguiente: disponiendo en un punto C, que es la central, de energía eléctrica, se desea transportarla a un punto A, para alimentar algunos motores, cuyo número y potencia son bien definidos, así como para alimentar a un circuito de alumbrado perfectamente determinado también, estando agrupados todos estos motores y lámparas en un espacio restringido, por ejemplo, en un pequeño taller (fig. 100).

Observaremos ahora que por el momento no hablamos aquí sino del transporte de la energía eléctrica. Para realizar este transporte es preciso establecer dos conductores, al menos, entre la estación central y los aparatos, o, más exactamente, entre la central y los dos bornes de acometida, de que está provisto el taller.

La diferencia de potencial que existe entre los dos bornes de la máquina generatriz, que es también la que existe entre las barras colectoras del cuadro de distribución de la central, subsiste asimismo entre los dos hilos conductores, si cada uno de ellos está enlazado con una de las barras colectoras. Por consiguiente, en la acometida de entrada del taller se dispondrá también de esta misma diferencia de potencial; la cual, aplicada a los bornes de uno u otro de



los aparatos receptores, da lugar en el aparato a una corriente que asegura el funcionamiento del mismo.

La corriente que recorre cada uno de los aparatos receptores puestos en servicio proviene de la generatriz y recorre los conductores entre los puntos C y A. Su intensidad es igual a la suma de las intensidades de la corriente que pasa en cada aparato, puesto que éstos están en derivación entre los dos bornes de llegada.

Supongamos, entre tanto, un problema más complicado, que se enuncia así (fig. 101) : en C existe una estación central cuya energía debe alimentar los aparatos receptores agrupados en A, como en el caso anterior, y en otros dos puntos B y D. El punto B se encuentra entre C y A, y el punto D, en una dirección completamente diferente.

Aquí, al problema del transporte de energía eléctrica se añade el de distribución. La solución será la siguiente : Como en el caso anterior se instalarán dos conductores, al menos, entre C y A ; sobre estos conductores, y en la proximidad de B, se montarán en derivación dos nuevos conductores, que formarán lo que se llama una ramificación, para alimentar los aparatos que se hallan en B. En fin, se tenderán igualmente entre C y D dos conductores que partirán de las barras colectoras : aquí, pues, hay dos líneas de salida de la central. La potencia y la intensidad de la corriente en las barras colectoras será igual a la suma de las

potencias e intensidades de las corrientes que circulan por ambas ramas. Los conductores dirigidos hacia A serán recorridos por una corriente cuya intensidad es la suma de las intensidades de las corrientes necesarias para A y B, entre C y el punto de ramificación, mientras que esta intensidad será igual a la exigida por los aparatos receptores a partir de dicha ramificación.

En este caso hay, pues, transporte y distribución de energía eléctrica.

Lo que importa conocer, para calcular la sección de los conductores que constituyen las canalizaciones de la corriente eléctrica, son las intensidades de la corriente por la que han de ser recorridos. Basta, para determinar esta magnitud, fijarse en la potencia que puede ser exigida por los diversos aparatos de utilización, y en la diferencia de potencial o tensión mantenida constante entre los conductores. Esta tensión es la *tensión de distribución*.

Recordemos que, cualquiera que sea la potencia de la corriente, para una potencia dada, la intensidad de la corriente es inversamente proporcional a la diferencia de potencial entre los bornes de los aparatos de utilización.

Por otra parte, la sección de los conductores es tanto mayor, cuando más fuerte es la intensidad de la corriente. En efecto, en un principio, la corriente produce el calentamiento del conductor, el cual puede provocar la fusión del mismo, si su sección es muy pequeña y la in-

tensidad de la corriente es muy grande. Por último, el conductor opone una cierta resistencia, dando lugar a una caída de tensión, de modo que la tensión entre los dos conductores de llegada es menor que la que existe en los puntos de partida, en la central, y esta diferencia aumenta a medida que lo hace la intensidad de la corriente, condiciones todas desfavorables para el funcionamiento de los aparatos de utilización. Es imposible evitar esta caída de tensión, pero se puede reducir instalando conductores de sección suficiente para que sea poco sensible.

Mas no olvidemos el punto de vista económico: conviene reducir el diámetro de los conductores cuanto sea posible, para evitar un coste excesivo de la instalación. El único medio para transportar una potencia dada a una distancia determinada, sin necesidad de empeñar un capital excesivo en la compra de hilos y cables, es escoger una tensión entre los conductores bastante elevada para que la intensidad de la corriente sea relativamente débil.

En el caso de tratarse de corriente continua se limita la elección de esta tensión por las dificultades que se encuentran en la construcción de dinamos de tensión elevada. Las dinamos de construcción corriente no dan más de 600 voltios de potencial en sus bornes. Sería, desde luego, peligroso distribuir a domicilio una energía eléctrica a una tensión superior: la de 600 voltios presenta ya algunos inconvenientes

y no puede ser tomada en consideración sino en algunos casos particulares. Las tensiones normalmente admitidas para la distribución de la energía eléctrica a domicilio son las de 110, 220 y 440 voltios. Las lámparas de incandescencia están construídas para funcionar a la

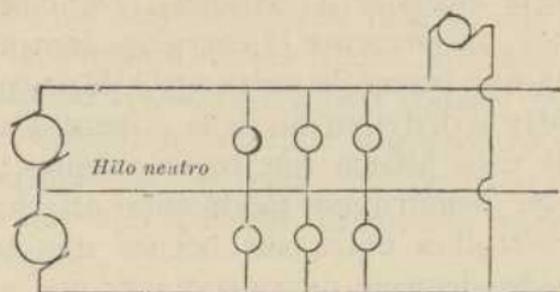


Fig. 102. — Distribución en tres hilos.

tensión de 110 voltios y raras veces bajo la de 220.

La corriente continua se sirve generalmente por *distribución trifilar*: se montan en serie dos dínamos (fig. 102) de 110 ó 220 voltios, entre sus polos extremos, obteniéndose así una tensión doble, o sea 220 ó 440 voltios para cada una.

El tercer hilo, o *hilo neutro*, parte del polo común a las dos generatrices. Entre cada uno de los dos hilos extremos y el hilo neutro se dispone de la misma tensión que da una de las dínamos, ya sea 110 ó 220 voltios. Gracias a esta disposición se aseguran en la red dos tensiones: una, la más débil, para las lámparas de incandescencia y, en genral, para los apa-

ratos que absorben una potencia poco elevada ; la otra, para los motores y todos los aparatos en los que la potencia tiene una cierta importancia.

Pero este método de distribución sólo resuelve imperfectamente el problema del transporte de la energía eléctrica a distancia. De momento; hasta hoy, no presenta la corriente continua las ventajas que ofrece la corriente alterna para el transporte y distribución de la misma. Las ventajas de esta última son las siguientes :

1.^a Se construyen fácilmente alternadores que desarrollan entre sus bornes una tensión que puede alcanzar de 12.000 a 15.000 voltios, y, además, gracias a los transformadores estáticos, se obtiene una tensión, sin dificultad, superior a la indicada, propia para el transporte y distribución de la energía eléctrica.

2.^a Se puede reducir la tensión obtenida a otra mucho más débil en los bornes de los aparatos receptores, y esto mediante los mismos transformadores estáticos, con lo que el funcionamiento no necesita vigilancia alguna.

La corriente alterna permite, así, realizar las dos condiciones necesarias, en la distribución de la energía eléctrica, a saber : tensión elevada para el transporte de energía, y tensión débil para su utilización. Las tensiones admitidas para su utilización son, como para la corriente continua, 110, 220 y 440 voltios. Se han adoptado iguales tensiones que para la corriente continua en vista del empleo de algunos apa-

ratos receptores, tales como las lámparas de incandescencia, las cuales funcionan indiferentemente con corriente continua o alterna : basta que la tensión de la corriente sea la que corresponde a la construcción de la lámpara.

En lo que a la elección de la tensión de la corriente de distribución se refiere, ella depende de la longitud de las líneas. Existen distribuciones de tensión de 2.000 voltios, hasta de 80.000 voltios, alcanzando algunas 100.000 y 120.000 voltios. Se trata en este caso de tensiones muy elevadas, de verdaderos transportes de energía.

No conviene abusar, sin embargo, de una manera excesiva de tensiones elevadas, a causa de las numerosas precauciones que se han de tomar para el aislamiento de las diversas partes del circuito. También la corriente continua, que presenta ventajas positivas desde el punto de vista de su utilización, es preferida a la corriente alterna, puesto que las tensiones que se pueden alcanzar sin grandes esfuerzos, a saber, 110, 220 y 440 voltios, son bastante elevadas para la distribución.

La elección de la tensión, de la que depende la naturaleza de la corriente, necesita el conocimiento de la potencia normal que se ha de transportar y de la distancia a que la energía debe ser transportada y distribuída.

Vamos a dar aquí algunas fórmulas útiles para hacer comprender la marcha que se ha de seguir en el cálculo de una línea. Este cálculo

se refiere a la determinación de la sección del conductor, cuya longitud viene dada por la distancia desde la central a los puntos en que se ha de utilizar la corriente. Si P representa la potencia en watios absorbida por el conjunto de aparatos de utilización existentes en el punto considerado A (véase el ejemplo indicado más arriba, fig. 100), l la distancia de C a A , en metros, S la sección del conductor en milímetros cuadrados, a la resistencia en ohmios que opone un metro de este conductor cuando su sección es de un milímetro cuadrado, R la resistencia de un solo conductor entre C y A , I la intensidad de la corriente que recorre estos conductores, para la alimentación de A , y U la tensión entre los dos conductores en A , se tiene :

$$(1) \quad R = a \frac{l}{s},$$

fórmula que da la resistencia de un conductor expresada en ohmios ;

$$(2) \quad P = RI,$$

fórmula de donde se puede deducir el valor de la intensidad de la corriente, si se trata de corriente continua ;

$$(3) \quad P = UI \cos. \alpha,$$

fórmula que da igualmente esta intensidad de la corriente, si ésta es alterna monofásica, y en

la que $\cos. \alpha$. es el factor de potencia de los aparatos receptores colocados en A ;

$$(4) \quad P = \sqrt{3} UI \cos. \alpha,$$

fórmula semejante a la anterior, pero aplicable a la corriente alterna trifásica ;

$$(5) \quad 2RI = u,$$

fórmula que da la caída de potencial u en voltios, en la línea para la corriente continua y para la corriente alterna monofásica ;

$$(6) \quad \sqrt{3} RI = u,$$

fórmula semejante a la anterior, pero aplicable a la corriente alterna trifásica.

Expongamos un ejemplo numérico para fijar mejor las ideas.

Supongamos que se trata de alimentar a 250 metros de la estación central un circuito de alumbrado que consume 7.000 watios, y diez motores que absorbe cada uno 1.500 watios, o sea una potencia total de :

motores :	$10 \times 1.500 = 15.000$	watios
lámparas :	7.000	watios
potencia total :	22.000	watios

La corriente adoptada es continua, y la tensión, de 220 voltios en los bornes de llegada.

De la fórmula (2) deduciremos I :

$$I = \frac{P}{U} = \frac{22.000 \text{ watios}}{220 \text{ voltios}} = 100 \text{ amperios.}$$

Como la tensión es de 220 voltios, vamos a calcular la resistencia que tendrán los conductores si la caída de tensión es de 10 voltios; de la fórmula (5) podemos deducir:

$$2 \times R \times 100 = 10 \text{ voltios,}$$

de donde:

$$R = \frac{10}{200} = \frac{1}{20} \text{ ohmios;}$$

en fin, de (1) tomando hilos de cobre, cuya resistencia es $\frac{1}{60}$ ohmios por metro y milímetro cuadrado de sección:

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{60} \times \frac{250}{S},$$

de donde:

$$S = \frac{250 \times 20}{60} = 83 \text{ milímetros cuadrados;}$$

sección muy grande que se reduciría, si la instalación en proyecto admitiese una caída de tensión igual a 15 voltios; o, lo que sería preferible, adoptar una distribución trifilar (2 por 220 voltios). Los motores funcionarían entonces a 440 voltios y las lámparas a 220.

La sección de los hilos extremos se calcula como si se tratase de una distribución bifilar, a una tensión de 440 voltios. La intensidad de la corriente sería 50 amperios en los hilos extremos.

La caída de tensión relativa, siendo la misma que anteriormente, sería de 20 voltios, lo cual corresponde al 5 p. 100 próximamente de la tensión en los bornes de llegada, como 10 voltios, en el caso precedente representan el 5 p. 100 próximamente de la tensión de 220 voltios. •

Así; la sección de los hilos extremos se puede reducir a una cuarta parte, o sea unos 20 milímetros cuadrados.

La sección del hilo neutro podrá ser mucho más pequeña, puesto que sólo una parte de la corriente, la destinada a la alimentación de las lámparas, pasa por este hilo.

Los cálculos de las secciones de los conductores son mucho más complicados cuando se trata de las líneas de distribución, en las cuales hay muchas ramificaciones, siendo preciso tener en cuenta la corriente absorbida en cada ramificación.

Divídese entonces la línea principal en secciones, estando comprendida cada sección entre dos ramificaciones vecinas, y se calcula la sección de los conductores de esta sección, fijando previamente la caída de tensión admitida en cada una.

En el caso de una red muy esparcida o de gran extensión, importa mantener una tensión constante entre los conductores, en los bornes de los aparatos de utilización, y es preciso que esta tensión sea la misma en los diferentes puntos de la red; se adopta entonces la distribución por *feeders* o alimentadores. Los *feeders*

son líneas que parten de la central, en todas direcciones, formando, en los extremos, *centros de distribución*, enlazados entre sí por nuevas líneas, que se llaman *distribuidores* (figu-

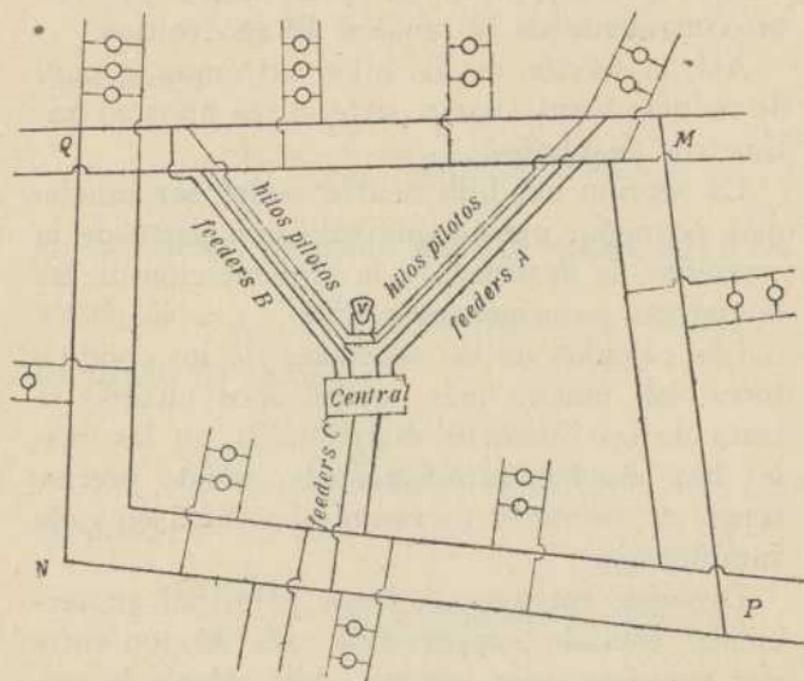


Fig. 103. — Esquema de una distribución bifilar.

ra 103), y sobre éstos se montan las ramificaciones de los abonados.

Es preciso tomar disposiciones especiales para mantener la tensión constante entre los centros de distribución: se pueden instalar para ello hilos pilotos, dos hilos delgados independientes de los conductores principales, cuyos extremos están conectados con un voltímetro

instalado en el cuadro de distribución de la central eléctrica. El obrero encargado de la vigilancia se da cuenta exacta, en cada momento, de la tensión en los diversos centros distribuidores, y puede regularla mediante un reostato o regulador, llamado *regulador de feeder*, montado en serie sobre el *feeder* correspondiente.

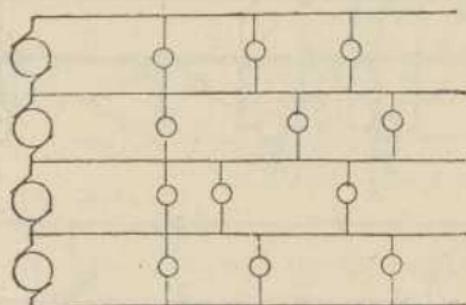


Fig. 104. — Distribución en cinco hilos.

A menudo el regulamiento está asegurado automáticamente por un elevador de tensión, dispuesto igualmente en serie sobre el *feeder*.

En caso de corriente alterna, estos centros de distribución suelen ser estaciones de transformación, que contienen uno o muchos transformadores estáticos, reductores de tensión; la tensión elevada de la central es reducida, para ser distribuída entre los puntos próximos.

El sistema de distribución que acabamos de estudiar es el de *tensión constante*, el único adoptado para la corriente alterna y el empleado casi siempre para la corriente continua.

Recordemos la posibilidad de transportar la

energía eléctrica a *intensidad constante*, posibilidad realizada en muy raras instalaciones; pero este sistema de distribución no ha alcan-

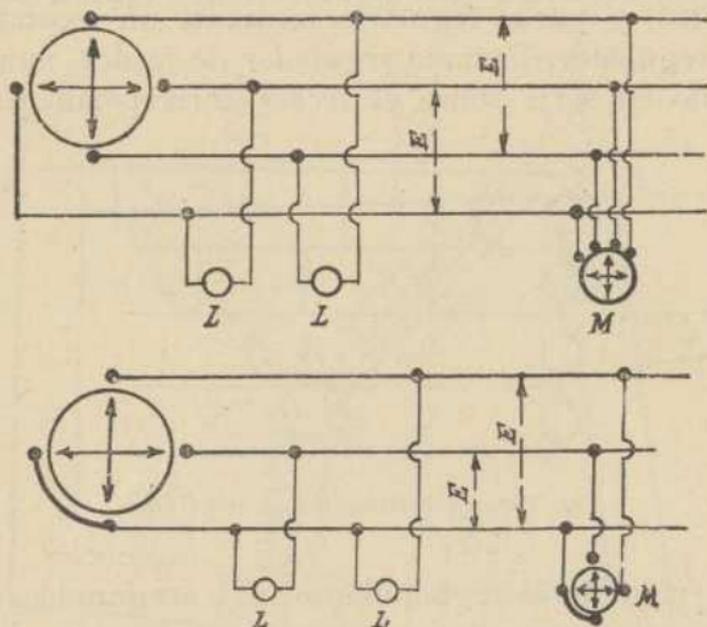


Fig. 105. --- Distribución difásica.

zado el desarrollo que el de la distribución a tensión constante.

En lo que a este último sistema se refiere, se puede clasificar en varias categorías, según la naturaleza de la corriente y el número de conductores entre los cuales se mantiene la tensión constante:

1.^a, en corriente continua, distribución bifilar: distribución trifilar, de la que hemos hecho ya resaltar la ventaja en determinados ca-

sos ; distribución de cinco hilos, raras veces empleada, que presenta las propiedades de la distribución trifilar y en la que se dispone de cuatro tensiones diferentes (hay cuatro dinamos en serie) (fig. 104), siendo todas estas tensiones múltiplos de la tensión menor, o sea :

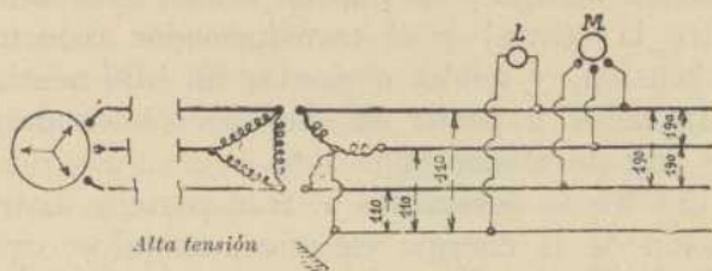


Fig. 106. — Ejemplo de distribución.

110 voltios ; 2×110 voltios ; 3×110 voltios ;
 4×110 voltios ; o 220 voltios ; 2×220 voltios ;
 3×220 voltios ; 4×220 voltios ;

2.^a en corriente alterna monofásica, distribución bifilar y trifilar, como en la corriente continua ;

3.^a, en corriente alterna difásica, distribución trifilar, y por cuatro o cinco hilos, si bien raras veces adoptada (fig. 105) ;

4.^a, en corriente alterna trifásica, distribución trifilar : distribución a cuatro hilos, siendo el cuarto el hilo neutro (fig. 106). La tensión entre uno cualquiera de los tres hilos restantes y el neutro es $\frac{1}{\sqrt{3}}$ veces la que se dispone entre dos de los hilos restantes. Si, por ejem-

plo, la tensión entre dos de estos hilos es igual a 380 voltios, la tensión entre el hilo neutro y uno de los otros hilos será 220 voltios; esta distribución ofrece el mismo interés que la trifilar de corriente continua. Observaremos que no es necesario que el hilo neutro parta de la estación central: se pueden tender tres hilos entre la central y el transformador reductor de tensión, y tender o montar un hilo neutro, únicamente a partir del devanado secundario del transformador (fig. 106).

Las líneas destinadas al transporte y distribución de la energía eléctrica, en hilos o cables de cobre o de aluminio, pueden ser aéreas o subterráneas.

Líneas aéreas. — Estas líneas están constituidas por conductores desnudos, fijados y sostenidos por aisladores.

Las dimensiones de los conductores vienen determinadas por las consideraciones que preceden: estos conductores son hilos de cobre o aluminio; cuando su sección es muy grande y sobrepasa de 30 milímetros cuadrados, se prefiere adoptar cables formados por muchos hilos trenzados y cuya sección total difiere muy poco de la que tendría un solo hilo. Se dispone así de un conductor menos rígido que un hilo que tuviese su misma sección, y presenta, desde el punto de vista eléctrico, las mismas propiedades que el hilo. A menudo, para secciones inferiores a la indicada, se prefieren los

cables a los hilos únicos, siempre por la misma razón: la menor rigidez del cable que el hilo.

Los conductores van fijados a aisladores de porcelana o vidrio, los cuales están fijos, a su vez, sobre soportes metálicos.

Los aisladores tienen la forma de campana y están provistos en su parte superior de una garganta destinada a recibir el cable o hilo. Si la tensión de distribución es muy elevada, el aislador está formado por varias campanas superpuestas y embutidas (fig. 107), de manera que aumenten la distancia entre la espiga de hierro que soporta al aislador y el conductor que se encuentra a un cierto potencial.



Fig. 107.—Aislador de alta tensión.

Los soportes metálicos de los aisladores están fijados en postes, o, según los casos, a los muros de las casas de las localidades atravesadas por las líneas. Este último modo de fijación no debe ser adoptado sino cuando la línea tiene una tensión de distribución relativamente débil.

Los postes que soportan los conductores son de madera, de hierro tubular, de cemento armado, o bien son torres metálicas (fig. 108).

De una manera general los postes han de estar sólidamente cimentados y empotrados en una base de hormigón (fig. 109). Su resistencia está calculada para soportar los conductores que están convenientemente tendidos entre dos

postes consecutivos. La tensión del hilo tiende a tronchar, por decirlo así, el poste; pero en los postes de línea hay conductores a ambos lados, y de aquí que se anulen los esfuerzos de flexión opuestos. Es preciso, sin embargo, prever la eventual ruptura de un conductor, lo cual haría sensible el esfuerzo de tracción de los conductores colocados al otro lado del poste. Además, los postes están sometidos a la acción del viento. Importa, pues, tomar las precauciones necesarias en la elección de las dimensiones de los postes y en su colocación.

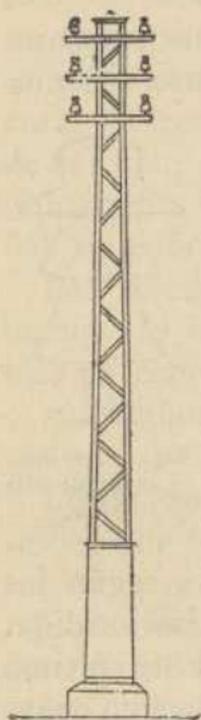


Fig. 108.
Poste metálico.

Estas precauciones se imponen, sobre todo, cuando se trata de *postes de arranque* o de *postes de ángulo*. Se llama así, como es fácil suponer, el poste en que la línea forma un ángulo en su dirección; en estos dos casos los esfuerzos debidos a la tensión de los hilos no se neutralizan, como en los postes *de línea*, sino que tienden a quebrar el poste en el sentido de la bisectriz del ángulo que forman las dos direcciones de la línea. En los postes de *arranque*, sólo hay conductores a un lado del poste; así, las precauciones que se han de tomar en la instalación de los postes terminales no son menos importan-

tes que las que se toman en la de los postes de ángulo.

Los postes o torres destinados a los puntos en donde la línea forma un ángulo y en donde ella termina se diferencian de los de la alineación general por sus mayores dimensiones.

Debemos llamar la atención del lector sobre este punto, para el caso en que estuviese algún día encargado de la instalación de una línea; tendrá entonces cuidado de contar, sobre el trazado general, el número de postes o torres de ángulo y arranque o amarre que en ella entran y tomar las convenientes disposiciones para

que estos postes sean cimentados y empotrados aún más firmes que los restantes.

La distancia entre dos postes de línea varía de 30 a 60 metros, según la naturaleza de los mismos. Pueden admitirse mayores distancias, en casos excepcionales, como al atravesar un valle, por ejemplo; pero en este caso la resistencia de los postes o torres se calcula previamente y se establecen en el terreno con cuidado especial.

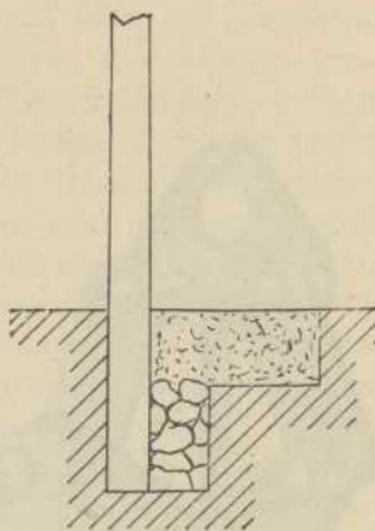


Fig. 109. — Cimentación de un poste.

Después de fijados los conductores sobre los aisladores es preciso darles una tensión conveniente.

Esta tensión se establece por el cálculo, de manera que los conductores formen una flecha

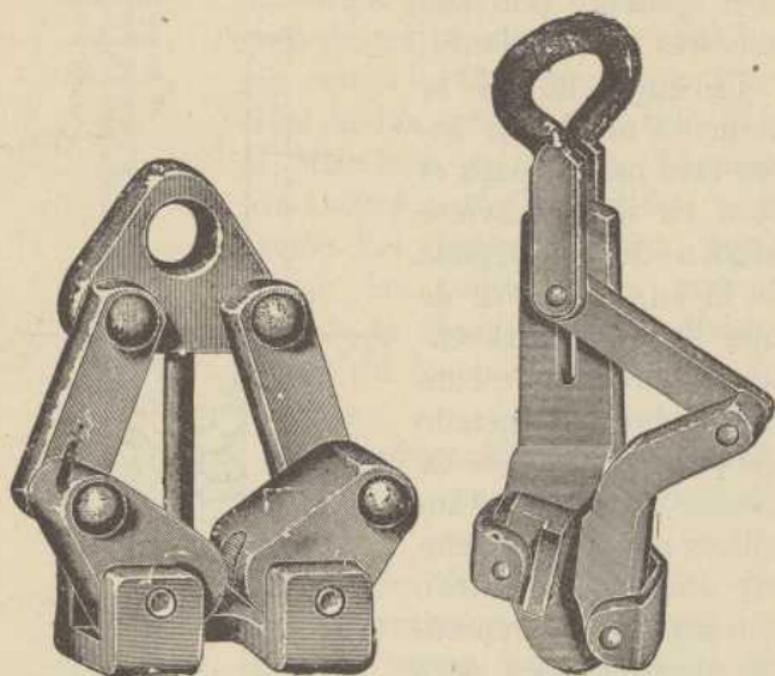


Fig. 110. — Mandíbulas tensoras.

determinada : sería imprudente tender los hilos completamente tensos, en forma tal que la flecha fuese nula. Para tender los hilos convenientemente se emplea una pinza de mandíbula que forma parte de un dinamómetro (figura 110) ; el extremo del hilo es cogido por la pinza, y la varilla móvil que ésta lleva en su otro extremo está unida a un tensor que

permite dar al hilo la tensión deseada sin hacer un esfuerzo desproporcionado; la tensión que se habrá obtenido es indicada en la escala del dinamómetro.

En una línea aérea es de temer la ruptura de un conductor, que puede provocar un cortocircuito si el conductor cae sobre un conductor próximo de la misma línea, o accidentes graves, si cae sobre los hilos telegráficos, o bien sobre un camino o vía férrea. Por esta razón los reglamentos imponen tomar precauciones especiales cuando la línea pasa próxima a una línea telegráfica o telefónica, o cuando debe atravesar un camino, o bien líneas férreas. Para evitar accidentes, se colocan frecuentemente debajo de la línea peligrosa redes constituídas por hilos o alambres de acero, con el fin de proteger las líneas telegráficas y telefónicas que pasan por debajo de la línea de alta tensión.

Cuando se trata de atravesar caminos públicos o bien líneas férreas, se reduce la distancia entre los postes, colocando uno a cada lado de la vía que se trata de atravesar, y a menudo se provee la instalación en dichos lugares de una red protectora.

En el caso de atravesar las líneas férreas, estas precauciones no son suficientes para las compañías de ferrocarriles, las cuales, en general, obligan a las compañías de electricidad a atravesar las líneas ferroviarias utilizando cables subterráneos.

Canalizaciones subterráneas. — Los conductores destinados a estas canalizaciones son cables de cobre o aluminio formados por varios hilos trenzados.

Generalmente los dos, tres o cuatro conductores que constituyen la línea están alojados en una misma envoltura de plomo que a su vez

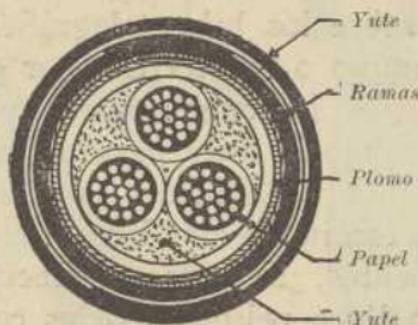


Fig. 111. — Sección de un cable armado trifásico (cinco capas).

está recubierta de una capa de material fibroso y de una armadura de lámina de hierro muy delgada (fig. 11).

Este conjunto forma un *cable armado* de dos, tres o cuatro conductores, destinado a ser colocado en un conducto subterráneo.

Los conductores están dispuestos concéntricamente o en hélices paralelas; su conjunto está frecuentemente aislado por una capa de papel, mientras que se aloja entre los conductores una materia fibrosa que rellena los huecos y espacios.

Excávanse en la tierra las zanjas destinadas a recibir los cables, los cuales se colocan en el

fondo de las mismas, descansando sobre una capa de arena o tierra tamizada.

La unión entre dos cables consecutivos se lleva a cabo en el interior de cajas de hierro fundido (fig. 112). Estas cajas están formadas por dos piezas que se atornillan fuertemente

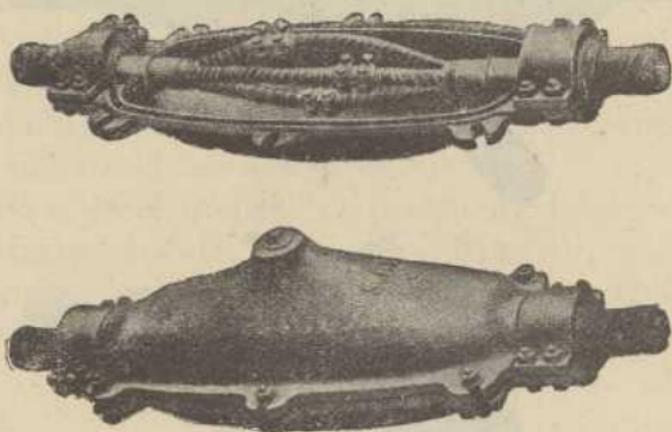


Fig. 112. — Cajas de enlaces.

entre sí para impedir que en su interior penetre la humedad.

El cable armado penetra en la caja por un orificio o cuello dispuesto para este fin, y en el que ajusta perfectamente el cable, que queda así fuertemente comprimido; el cable se desnuda en el interior de la caja, y los conductores se conectan cada uno a su borne respectivo que comunica con el borne de salida, mediante un fusible, o una lámina de cobre amovible.

Para las ramificaciones se emplean cajas semejantes a las representadas en la figura 113,

análogas a las cajas de conexiones, pero que están provistas de más de dos orificios, para la introducción de cables : dos de ellos están destinados a la entrada y salida de los cables prin-

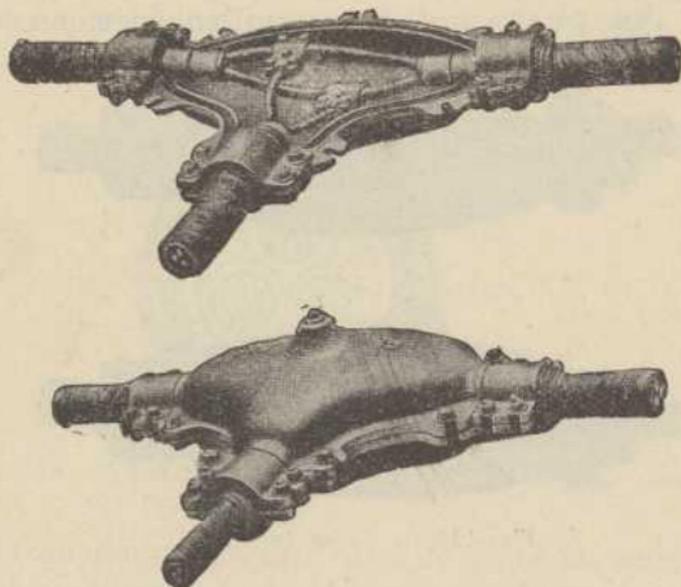


Fig. 113. — Cajas para ramificaciones.

cipales, y los otros orificios para la salida de las ramificaciones.

Las canalizaciones subterráneas, presentan más fácilmente los defectos de aislamiento que las líneas aéreas. Para medir el aislamiento de una red con relación a la tierra, se enlaza uno de los bornes de un ohmmetro a la línea y el otro borne al suelo, intercalando en serie una fuente de electricidad, y el ohmmetro indica el valor de la resistencia del aislamiento. Es pre-

ciso que esta resistencia alcance muchos miles y aun millones de ohmios, para que el aislamiento se pueda considerar como satisfactorio.

Caso de no tener un ohmmetro, se puede utilizar un voltímetro en serie con una pila, de la que se conoce la resistencia. Si la aguja del voltímetro se desvía cuando el aparato está intercalado entre la línea y el suelo, se compara esta desviación a la que sufre la aguja cuando el voltímetro está montado entre los bornes de la pila.

Si n es el número de divisiones leídas en la primera medida, sobre el voltímetro, n' , este número, en la segunda medida, se calcula la resistencia del aislamiento X , por la fórmula :

$$X=R. \frac{n' - n}{n}$$

en la que R es la resistencia del voltímetro expresada en ohmios.

Pero antes de poner en servicio una instalación que tenga alguna porción canalizada bajo tierra, no es suficiente asegurarse de que su aislamiento es satisfactorio, sino que es preciso también comprobar que el aislante colocado entre dos conductores a potenciales distintos, en un mismo cable, podrá soportar la diferencia de potencial a que se someterán estos conductores. Esta comprobación constituye el ensayo que se ha de hacer después de instalado el cable : en este ensayo se aplica entre los dos conductores una tensión igual a dos veces próximamente la

tensión normal del servicio durante quince minutos.

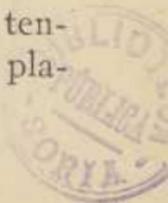
Si el cable presenta un defecto de aislamiento, o si el aislante no soporta la tensión de ensayo, se localiza el punto débil seccionando el cable: esta operación es facilitada por las cajas de enlace. Se comprueba el aislamiento entre cada conductor y el suelo, y entre los conductores en cada porción del cable, comprendido entre dos cajas consecutivas: así se encontrará la porción defectuosa del mismo.

CAPITULO XII

ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y SUBCENTRALES

Estaciones transformadoras.—Este es el nombre que se da a los locales destinados a la instalación de transformadores reductores de tensión, repartidos sobre la red de corriente alterna. Sus dimensiones y disposición difieren según la importancia de los aparatos que han de contener. En las más sencillas, que no necesitan vigilancia alguna, no hay ningún aparato, a excepción del transformador, y una instalación de pararrayos, si la línea es aérea, o de limitadores de tensión del lado de llegada de la línea de alta tensión, y del otro lado, sobre la salida de la línea de baja tensión.

A menudo, si la estación transformadora es de importancia, se coloca en la misma un pequeño cuadro de distribución; éste supone la existencia de un transformador de recambio, y muchas ramificaciones de salida de baja tensión. El cuadro consta entonces de una placa de llegada para cada transformador, conteniendo un interruptor disyuntor de alta tensión, y eventualmente un amperímetro, y pla-



cas de salida idénticas a las de los cuadros de distribución de las centrales. Como en las estaciones transformadoras de menos importancia, hay siempre un juego de pararrayos, o limitadores de tensión para la protección de los devanados primarios y secundarios de cada transformador (fig. 114).

Subcentrales.—Ya hemos hablado de las subcentrales, en las que la corriente alterna es transformada en corriente continua. Todo cuanto se ha dicho de las centrales eléctricas se puede aplicar a las subcentrales, principalmente en lo que a los cuadros de distribución se refiere. Las máquinas transformadoras de corriente son convertidores o bien conmutatrices.

El cuadro de distribución se divide en dos partes; la una destinada a la corriente alterna y la otra a la corriente continua. Se ha de tener especial cuidado en separar netamente ambas partes.

Si la corriente alterna se distribuye a tensión elevada, esta tensión se reduce mediante un transformador estático cuyo devanado secundario alimenta al grupo convertidor o a la parte de la conmutatriz que funciona con corriente alterna. En general, hay tantos transformadores estáticos cuantas máquinas transforman la corriente alterna en corriente continua.

Si estas máquinas son conmutatrices, la tensión que se ha de aplicar en los bornes de la

conmutatriz de corriente alterna es fijada por la que se quiere obtener en la corriente continua. Los transformadores de alimentación de las conmutatrices llevan, pues, la tensión de la red a la tensión que se desea.

El cuadro de distribución destinado a la corriente alterna contiene, además de los aparatos de protección y de control, los aparatos de arranque de los transformadores rotativos. En lo que a la corriente continua se refiere se encuentra en las subcentrales absolutamente la misma disposición que en las centrales.

Se emplea con frecuencia en las subcentrales una batería de acumuladores.

Notemos, por último, que se puede igualmente llevar a cabo la transformación de la corriente continua en alterna; las máquinas necesarias para ello serían igualmente grupos convertidores con un motor de corriente continua y un alternador, o bien conmutatrices; pero esta transformación sólo se lleva a cabo raras veces.

APENDICE (1)

TITULO II

De las reglas técnicas y condiciones generales de las instalaciones

CAPITULO PRIMERO

DE LA DISPOSICIÓN GENERAL E INSTALACIONES DE FÁBRICAS DE PRODUCCIÓN Y ESTACIONES CENTRALES

Art. 26. En armonía con lo dispuesto en el artículo 10 de este Reglamento, el peticionario podrá proponer el sistema de producción, conducción, transformación y distribución que considere más conveniente, siempre que para la seguridad de las personas, cosas y otras instalaciones adopte las medidas propias de cada sistema y se sujete a las prescripciones generales de este Reglamento. La Administración podrá admitir o rechazar la propuesta, según que ésta satisfaga o no las condiciones de seguridad antes mencionadas y teniendo en cuenta si las precauciones adoptadas son suficientes para la tensión, corriente y condiciones de los locales de la instalación proyectada.

Según la tensión que se emplee, las instalaciones, máquinas y aparatos se dividirán en la forma siguiente :

De baja tensión, cuando la mayor diferencia de potencial que exista entre un conductor y tierra no pase

(1) Extracto del Reglamento para instalaciones eléctricas, en cuanto afecta a la seguridad pública y a la servidumbre forzosa de paso, con arreglo a la ley de 23 de marzo de 1900. (Gaceta de Madrid de 3 de abril de 1919.)

de 175 voltios en corriente continua o 125 voltios eficaces en alterna.

De media tensión, cuando dicha diferencia de potencial esté comprendida entre los límites antes mencionados y 1.000 voltios en corriente continua y 600 en alterna.

De alta tensión, si la misma diferencia de potencial es mayor de 1.000 voltios en corriente continua y 600 en alterna.

Art. 27. En todas las máquinas generadoras o receptoras de media o alta tensión deberán ponerse en perfecta comunicación con tierra las partes metálicas que no deben tener contacto con los circuitos eléctricos, tales como núcleos, soportes, etc., no considerándose como suficiente medida de precaución el uso de plataformas aisladas, dispuestas alrededor de dichas máquinas.

Asimismo, deberán ponerse a tierra las envolventes o partes metálicas distintas de los conductores, en los aparatos eléctricos que por naturaleza o condición deban ser manejados por el personal de la instalación o puedan ser tocados inadvertidamente.

Los conductores de los circuitos de media tensión, al alcance de personas extrañas al servicio, tendrán el suficiente aislamiento para que no ofrezcan peligro al ser tocados accidentalmente, y los de alta tensión, aun cuando sean aislados, deberán estar instalados de modo que por su posición, o por medio de protecciones especiales, se haga imposible todo contacto. Las separaciones entre los distintos conductores será tal que, teniendo en cuenta la diferencia de potencial que entre los mismos exista, no pueda determinarse una ruptura del dieléctrico entre ellos.

En las instalaciones de baja tensión no es necesaria ninguna precaución especial en los generadores o receptores, a menos de que, por circunstancias particulares, sean de temer sobretensiones que puedan elevar la diferencia de potencial entre un conductor y tierra a un valor mayor que el límite asignado a la baja ten-

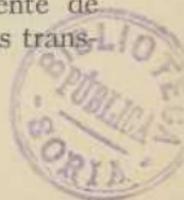
sión ; únicamente los conductores de los circuitos al alcance de la mano deberán estar recubiertos.

En toda Central eléctrica los aparatos de medida, seguridad o maniobra, tanto mecánicos como eléctricos, deberán estar colocados en sitios que permitan la fácil lectura de aquélla, o el rápido manejo de los segundos, en caso accidente.

Art. 28. Los locales donde se instalen transformadores deberán ser secos, bien ventilados y no ofrecer peligro de incendio o de explosión.

En las Centrales de producción o transformación de energía eléctrica o en los locales destinados únicamente a usos industriales en que aquélla se utilice, los transformadores, en los que uno o ambos circuitos sean de alta tensión, deberán colocarse en lugares, locales o compartimientos donde únicamente se permita la entrada a las personas expertas o advertidas del peligro. Las envueltas metálicas de los transformadores deberán ponerse en comunicación con tierra, y los interruptores se instalarán de modo que la corriente pueda ser cortada al entrar en dichos compartimientos. Cuando el secundario de un transformador esté conectado a una distribución de baja tensión, alimentada al mismo tiempo por otros transformadores, deberá advertirse de modo bien visible a los operarios que se abstengan de tocar aquél sin haber cortado la corriente, no sólo del primario, sino también del secundario. Para los transformadores de medida bastará que se monten de modo que no puedan ser tocados inadvertidamente.

Quando para la instalación de transformadores de alta tensión se empleen casetas, quioscos, garitas o pozos subterráneos no deberá colocarse en dichos locales más que los transformadores y los aparatos a ellos anejos, y debe hacerse la instalación en la misma forma que en las Centrales mencionadas en el párrafo anterior. Si los quioscos o las tapas de los pozos subterráneos fueran metálicos, deberán estar en buena comunicación con tierra ; pero esta comunicación será independiente de la unión a tierra de las envueltas metálicas de los trans-



formadores, de forma que dichas envueltas no comuniquen eléctricamente con el quiosco o con la tapa sin la intervención de tierra.

Los transformadores de pequeña potencia podrán montarse también al aire libre sobre postes, plataformas o palomillas, siempre que las envueltas metálicas estén a tierra y su elevación sobre el piso sea al menos de cinco metros. Las distancias de los conductores de alta tensión al suelo y a las fachadas serán las que se marcan en los artículos 39 y 40 de este Reglamento, y el aviso de peligro por ser causa de alta tensión deberá colocarse en forma clara y visible.

No se permitirá la instalación de transformadores de media y alta tensión en los edificios habitados, salvo los que se mencionan en el párrafo segundo de este artículo, a menos de que en ellos se disponga de un local que reúna las condiciones generales que se han indicado en este Reglamento y los transformadores sean inaccesibles para las personas extrañas al servicio.

Art. 29. El propietario o concesionario de una instalación podrá adoptar el sistema y disposiciones que juzgue más convenientes al funcionamiento de la fábrica y seguridad personal; pero antes de ponerla en explotación deberá entregar a la Administración, por duplicado, un plano o esquema de aquéllas y la reglamentación del servicio, para su examen por la Verificación oficial de Contadores eléctricos de la provincia, en cumplimiento del artículo 1.º de las instrucciones de este servicio; y si no se presentaran reparos en un plazo de diez días, se considerarán aprobados, debiendo colocar un ejemplar en sitio visible de la instalación, para conocimiento del personal afecto al mismo.

En dicho Reglamento se deberá prohibir el acceso al público, a no ir acompañado de un operario experto o del fabricante. Se exceptúa al Verificador o Agente de la Administración encargado de la inspección del cumplimiento de las condiciones de la concesión, el cual, sin embargo, no podrá proceder a ninguna veri-

ficación o comprobación sin previo aviso al concesionario y la asistencia de éste o de un delegado suyo.

Cuando para la producción de energía eléctrica se empleen máquinas de vapor u otros motores sujetos a ordenanzas y disposiciones especiales, deberán satisfacer a las mismas en su instalación y funcionamiento, independientemente de cuanto respecto a la energía eléctrica se dispone en este Reglamento.

CAPITULO II

DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Art. 30. En las instalaciones de producción, transformación y utilización de energía eléctrica, cualquiera que sea la tensión empleada, deberán colocarse interruptores :

a) En los conductores que conecten el inducido de cada generador o conmutatriz con el cuadro de distribución, y en los correspondientes al inductor, salvo el caso de que la corriente de este circuito pueda ser interrumpida en el reóstato de excitación.

b) En los conductores de unión con las baterías de pilas o acumuladores.

c) En las distintas arterias de alimentación o líneas de transporte que partan de las Centrales.

d) En la alimentación de motores, y cuando éstos tengan que ser excitados por distinta corriente en los circuitos de excitación, salvo el caso exceptuado en el apartado a). También podrá suprimirse el circuito de alimentación cuando el reóstato de arranque interrumpa la corriente en todos los conductores conectados al motor.

e) En los círculos primarios y secundarios de cada transformador o grupo de transformadores que deban trabajar simultáneamente. En el caso de que el circuito

de utilización esté conectado únicamente con el secundario de un solo transformador o con los secundarios de un solo grupo de transformadores, en cuyos primarios se interrumpa la corriente por un mismo interruptor, podrá suprimirse el del secundario. También podrá dispensarse el interruptor en los transformadores de medida.

f) En general, en el circuito de cada receptor o grupo de receptores que deban funcionar al mismo tiempo.

Los interruptores empleados en estos circuitos deberán estar dispuestos de modo que se establezca o se interrumpa la corriente a la vez en todos los conductores de un mismo circuito. Se exceptuarán de esta regla los circuitos de baja tensión cuya intensidad no pase de seis amperios; en ellos se tolerarán los interruptores unipolares.

En todos los conductores de las instalaciones antes mencionadas, excepción hecha de los que luego se expresan, se colocarán cortacircuitos automáticos o fusibles, que interrumpan la corriente en el circuito en que aquélla haya llegado a un valor excesivo; si los cortacircuitos pueden maniobrarse, además, como interruptores, permitiendo cortar fácilmente y a voluntad la corriente, podrán dejarse de colocar los interruptores indicados anteriormente.

No se colocarán cortacircuitos en los conductores de unión entre las máquinas y los transformadores acoplados en paralelo, en los de conexión a tierra, ni en los neutros; sin embargo, se permitirá su empleo en las derivaciones de los neutros que formen con otro conductor activo circuitos destinados a alimentar un receptor o grupo de receptores.

Los cortacircuitos automáticos deberán cortar la corriente a la vez en todos los conductores de cada circuito y, si se emplean fusibles, todos los de un mismo circuito deberán estar graduados para la misma corriente.

En los principales circuitos de las instalaciones de

importancia se preferirán a los fusibles los cortacircuitos automáticos, que permiten una mayor exactitud en la valoración del límite máximo de corriente, y mejor aún, los cortacircuitos diferidos (*à relais*), que ofrecen la posibilidad de hacer, cuando estén graduados convenientemente, que no se interrumpa la corriente en todos los circuitos a la vez, evitando de este modo las grandes sobretensiones a que esto da lugar; en los motores que necesiten una gran corriente de arranque se preferirá también el empleo de cortacircuitos diferidos.

Los interruptores y cortacircuitos empleados deberán llenar las siguientes condiciones:

a) Ser de tipo y dimensiones apropiadas a la tensión de servicio y a la corriente que deban interrumpir, de modo que no persista el arco formado al cortar el circuito, ni la densidad de corriente en las superficies de contacto que pueda dar lugar a elevaciones exageradas de temperatura. Todo interruptor o cortacircuito deberá llevar inscritas la tensión e intensidad máximas a que deba ser empleado.

b) Los interruptores se montarán sobre soportes incombustibles y de modo que puedan ser manejados con facilidad y sin peligro. Si han de ser movidos a mano, el mango, palanca o parte que ha de ser tocada para su maniobra será de materia aisladora. Si los interruptores fueran de alta tensión, dicha parte deberá estar separada de las que están a esta alta tensión por un tabique aislador, como el mármol del cuadro de distribución u otra disposición análoga.

c) En los interruptores de aceite de alta tensión, en los montados en la forma indicada en el párrafo anterior o en los que por cualquier causa no fuesen bien aparentes sus disposiciones de cierre y ruptura del circuito, las posiciones de cierre y ruptura deberán señalarse de modo que no puedan nunca confundirse.

d) Los cortacircuitos automáticos o fusibles deben ser establecidos de modo que corten la corriente cuando ésta llegue al valor máximo que pueda admitirse

en las máquinas, aparato receptor o conductor que deban proteger. Este valor máximo debe ser, a lo sumo, 1,50 de la corriente normal.

e) Los cortacircuitos deben montarse también sobre soportes incombustibles, y los de alta tensión de modo que no puedan tocarse inadvertidamente y su manejo no ofrezca peligro. Los fusibles deberán estar además cubiertos de modo que no puedan proyectar el metal fundido.

En las líneas de transporte de gran longitud, que deberán estar divididas en trozos o secciones de veinte kilómetros, a lo sumo, se separarán estas secciones por medio de interruptores o desconectores que, para mayor seguridad, deberán poner en comunicación con tierra al abrirse el trozo de línea que quiera separarse. Para el manejo de estos desconectores se tomarán las necesarias precauciones, a fin de que aquél no resulte peligroso.

En las redes de distribución se dispondrán cortacircuitos fusibles en los puntos de unión de las arterias y los distribuidores y en todos los sitios necesarios, para que nunca pueda pasar por un conductor una corriente mayor de la que éste puede soportar, según su sección.

Siempre que por la naturaleza, potencia y extensión de la instalación, sean de temer sobretensiones de importancia, cualquiera que sea la causa que las pueda producir, se instalarán descargadores en comunicación con tierra, o limitadores de tensión de reconocida eficacia. Especialmente en las líneas aéreas deben precaverse las perturbaciones que pueden ser producidas por la electricidad atmosférica, debiendo colocarse descargadores o limitadores de tensión en cada uno de los trozos en que la línea se haya dividido, cuando ésta sea de gran longitud.

Art. 31. Los conductores de energía eléctrica podrán ser de cobre, aluminio, bronce u otros materiales, siempre que para las líneas aéreas su resistencia mecánica satisfaga las condiciones que se exigen más

adelante. Las densidades de corriente admitidas en este artículo se refieren al cobre como tipo de conductor más usado. La densidad de corriente admitida en un conductor de materia distinta al cobre se fijará teniendo en cuenta la temperatura; al efecto, se admitirá que esta temperatura es igual en un conductor cualquiera, y otro de cobre de la misma sección, cuando las densidades de corriente estén en razón inversa de las raíces cuadradas de las resistencias específicas de ambos.

Las máximas densidades de corriente por milímetro cuadrado que podrán admitirse en los conductores de cobre de 1,65 a 1,70 microohmios-centímetros serán:

a) Conductores desnudos:

Secciones en mm. ²	Canalizaciones en locales cerrados	Canalizaciones al aire libre
2	6,00	9,25
4	5,00	8,50
6	4,50	7,75
8	4,00	7,25
10	3,75	6,75
12	3,60	6,25
15	3,50	5,90
20	3,35	5,50
25	3,20	5,25
30	3,00	5,00
40	2,75	4,75
50	2,50	4,50
60	2,35	4,25
70	2,25	4,00
85	2,10	3,75
100	2,00	3,60

En conductores donde el régimen de corriente sea muy variable, no alcanzándose el máximo de la misma más que durante cortos intervalos de tiempo, los valores anteriores podrán ser aumentados hasta un 20 por 100.

En los conductores desnudos de mayor sección, montados sólidamente sobre soportes incombustibles, la densidad de corriente estará sólo limitada por la condición de que la elevación de temperatura no sea perjudicial para la conservación del conductor, para las personas ni para los objetos próximos al mismo.

b) Hilos y cables cubiertos en líneas aéreas :

Sección en mm. ²	Densidad máxima	Sección en mm. ²	Densidad máxima
2	6,00	70	2,25
4	5,00	85	2,10
6	4,50	100	2,00
8	4,00	120	1,85
10	3,75	150	1,75
12	3,60	185	1,60
15	3,50	240	1,50
20	3,35	300	1,40
25	3,20	400	1,25
30	3,00	500	1,18
40	2,75	650	1,10
50	2,50	850	1,05
60	2,35	1.000	1,00

Como en los conductores desnudos, podrán aumentarse estos valores en la misma proporción cuando el régimen de corriente sea muy variable.

c) Cables subterráneos de un solo conductor para corriente continua :

Sección en mm. ²	Densidad máxima	Sección en mm. ²	Densidad máxima
15	8,00	200	3,00
25	6,80	250	2,75
35	6,00	300	2,50
50	5,20	400	2,25
70	4,50	500	2,05
100	4,00	650	1,90
125	3,70	800	1,75
150	3,40	1.000	1,60

d) Cables subterráneos de varios conductores :

Seccio- nes en mm. ²	CONCÉNTRICOS				
	De 2 conduc- tores	De 3 conduc- tores	De 4 conduc- tores	De 2 conduc- tores	De 3 conduc- tores
10	7,00	6,50	5,70	7,00	5,50
16	5,90	5,30	4,70	5,60	4,70
25	5,00	4,40	4,00	4,80	4,00
35	4,30	3,80	3,40	4,10	3,40
50	3,80	3,30	3,00	3,60	3,00
70	3,30	2,85	2,65	3,10	2,60
100	2,90	2,60	2,30	2,80	2,30
125	2,60	2,25	2,00	2,65	2,10
150	2,40	2,10	1,90	2,40	1,95
200	2,15	1,90	1,75	2,15	1,75
250	1,95	1,75	1,55	1,95	1,60
300	1,75	1,60	1,40	1,75	1,45
400	1,60	1,40	1,25	1,60	1,30

En los cables subterráneos de más de 3.000 voltios, se reducirán los valores anteriores en un 10 por 100.

En el caso de que varios cables vayan juntos, se reducirán a un 75 por 100 las densidades admisibles en todos los tipos de cables enunciados.

Los empalmes y uniones de hilos y cables se harán de forma que la elevación de temperatura en ellos no sea mayor que en los conductores que se empalman.

En las líneas y redes, los conductores de alta y media tensión, aunque estén recubiertos de materia aisladora, se colocarán de modo que por su posición o instalación no puedan ser tocados inadvertidamente, y si están protegidos por envueltas metálicas, éstas deberán ponerse a tierra. Los de baja tensión, si son recubiertos, no necesitan de ninguna protección especial. Los de alta y media tensión que vayan colocados de modo que sea posible su contacto, deberán ir protegidos por una cubierta metálica puesta a tierra.

Art. 32. Para los aislamientos empleados en las

instalaciones se tendrán en cuenta las prescripciones que a continuación se expresan :

a) Las máquinas y transformadores deberán haber satisfecho a las condiciones de rigidez dieléctrica de sus aislamientos exigidas por las prescripciones internacionales, hasta que se publiquen las españolas para la recepción de maquinaria.

b) Los aisladores de las instalaciones aéreas de media y alta tensión deberán haber sido ensayados, con el fin de comprobar su rigidez dieléctrica, a las siguientes tensiones :

Ensayos en seco

Los de media tensión a 1.000 voltios, más cuatro veces la tensión de servicio.

Los de alta tensión, hasta 10.000 voltios, a una tensión igual a 5.000 voltios, más tres veces la de servicio.

De 10.000 a 30.000 voltios, a una tensión igual a 15.000 voltios, más dos veces la de servicio.

De 30.000 a 70.000 voltios, a una tensión igual a una y media veces la tensión de servicio, más 30.000 voltios.

Para mayores tensiones se hará un estudio especial que justifique la suficiencia de las condiciones dieléctricas.

Ensayos bajo lluvia

Los aisladores se someterán, bajo lluvia de 3 milímetros por minuto y con inclinación de 45° , a tensiones de 40 por 100 de las indicadas en el párrafo anterior para los ensayos en seco.

c) Cuando los aisladores de las líneas, por su situación, estén expuestos a depósitos salinos, de polvo o de otra naturaleza que disminuyan sus condiciones de aislamiento, se reforzarán éstos según aconsejen las circunstancias.

d) Los cables acorazados, para líneas y redes subterráneas, deberán haber resistido, durante quince mi-

utos, después de veinticuatro horas de inmersión en el agua, las siguientes tensiones :

Tensión a que han de emplearse	Tensión de ensayo
Hasta 1.000 voltios..	3,00 veces
De 1.000 a 5.000 voltios, 1.000 +	2,00 veces
De más de 5.000 voltios, 3.500 +	1,50 veces

Art. 33. Queda prohibido en toda clase de conducciones eléctricas el uso de cañerías y el de la tierra para cerrar el circuito, salvo los casos especificados en este Reglamento. Sólo accidentalmente, para una reparación urgente, podrá utilizarse la vuelta por tierra, siempre que su empleo no ofrezca peligro ni dé lugar a perturbaciones en otros servicios.

Art. 34. En las instalaciones subterráneas, los conductores se colocarán a una profundidad mínima de 60 centímetros y a una distancia de 50 centímetros, al menos, de las tuberías de agua, gas o de otros servicios preexistentes, ya sigan la misma dirección, o se crucen. Esta separación se elevará a un metro con relación a los cables destinados a las comunicaciones telegráficas o telefónicas. En las calles, carreteras y demás vías de carácter público se colocarán los conductores fuera de la zona destinada al tránsito rodado y máxima circulación del público, siempre que haya posibilidad.

Los cables armados de alta o baja tensión pueden colocarse enterrados, sin más precaución que la de guardar las distancias consignadas en el párrafo anterior. En las instalaciones con hilo neutro, éste deberá ponerse a tierra, siempre que sea posible, y en este caso, los conductores neutros deberán ser desnudos.

Las líneas aéreas de tensiones superiores a 5.000 voltios serán ensayadas, después de construídas, a una tensión, con respecto a tierra, igual a una y media veces la tensión de servicio, debiendo hacerse este ensayo con la línea aislada y desconectando los pararrayos y limitadores de tensión. Podrá eximirse de esta

prueba cuando lo autorice la Dirección general de Comercio, Industria y Trabajo, oyendo a la Comisión permanente Española de Electricidad.

Las instalaciones en galerías o alcantarillas, por las que pueden transitar personas, se considerarán como aéreas a los efectos de este Reglamento, salvo en lo que se refiere a las distancias de los conductores al suelo y la fachada.

El aislamiento de las instalaciones interiores de baja tensión será suficiente para que las derivaciones a tierra de corriente, de cualquier conductor, entre dos cortacircuitos, o después del último cortacircuito, no pase de un miliamperio.

Art. 35. En las cajas o registros de las conducciones subterráneas no se consentirá cañería alguna de agua, gas u otros servicios, y estarán dispuestos dichos registros en condiciones de poder ser ventilados fácilmente. Las tapas de estos registros podrán ser de piedra, de hormigón, de cemento o de materias aisladoras, y también metálicas; pero en este último caso, y, en general, si hay alguna parte metálica, ésta no podrá hallarse en comunicación eléctrica con los conductores, y para evitar accidentes deberán tener buena comunicación con tierra. Deberán tomarse, además, las disposiciones necesarias para impedir la aglomeración de agua y gas en los registros y su acción sobre los conductores y tapas.

Art. 36. Los trazados de las líneas aéreas sobre vías públicas se situarán fuera de la parte destinada a carruajes y donde sea menos frecuente el tránsito de personas, subordinándose en las partes urbanizadas a lo que dispongan las Ordenanzas municipales, y, en su defecto, a lo que especialmente determine la Autoridad que otorgue la concesión o permiso para la seguridad de las personas y facilidades del tránsito.

En las zonas urbanizadas y fuera de vías públicas, el trazado de las líneas será rectilíneo, preferentemente, y sólo por imposibilidad de cumplir esa condición, se establecerán trazados poligonales, evitando

en cuanto las circunstancias lo permitan, cambios bruscos de dirección.

Art. 37. Los apoyos de las líneas y de otras instalaciones aéreas pueden ser obras de fábrica de carácter permanente, columnas de cualquier forma de construcción, siempre adecuada al objeto a que se destinen, postes metálicos, de hormigón de madera o mixtos, pudiéndose combinar todos estos sistemas.

Dentro de las poblaciones, y en todos los casos en que sea preciso tener en cuenta determinadas condiciones de ornato, el material de los apoyos y forma se armonizarán con aquéllas, sujetándose a las Ordenanzas municipales, si las hubiere. Si las líneas o instalaciones han de insistir sobre otras preexistentes, muros, edificios, etc., mediante ménsulas, palomillas, bastidores y otras construcciones, precisará el permiso previo del dueño de la edificación que se afecte, y en caso de ser aquéllos metálicos y llevar líneas de media y alta tensión, se comunicarán eléctricamente con tierra.

La altura de los apoyos será la necesaria para que el conductor más bajo de la línea, tendidos todos en la flecha de la catenaria que corresponde al vano, quede sobre cualquier punto del terreno que cruza, a una altura mínima de seis metros, excepción hecha de puntos inaccesibles para las personas, donde se podrá reducir la altura a cuatro metros, o de aquellos sitios en que, por sus condiciones especiales, sea precisa mayor altura, la cual, en cada caso, será determinada por la entidad que conceda la instalación.

La resistencia del apoyo y de su empotramiento serán tales, que, supuesto un viento normal a la línea, de 125 kilogramos de presión por metro cuadrado, la acción del mismo sobre los elementos que la integran no sea suficiente para producir una flexión o deformación permanente en el poste o apoyo que la soporta. Se supondrá el esfuerzo soportado por los hilos en el punto de sujeción del superior y la acción del viento normal a la dirección de la línea y aplicada en el centro del vano.

Para variaciones de dirección, que representen ángulos de 20° en adelante, se calculará el apoyo tomando el esfuerzo resultante de todos los que actúan sobre él. Los ángulos de 5° a 20° se considerarán como de 20° . Los postes de anclas se calcularán para un esfuerzo igual a dos tercios del máximo que deban sufrir en una dirección, suponiendo que no exista contrarresto alguno. Los de cabeza y final de línea se calcularán para el máximo esfuerzo total.

En el sentido longitudinal del trazado de la línea, la resistencia de los apoyos se calculará para un esfuerzo de tracción unilateral igual a 1 metro de la carga de rotura del total de los conductores que han de soportar aquellos apoyos, teniendo presente que, en dichas condiciones, el coeficiente de seguridad no será inferior a cuatro, suponiendo todo el esfuerzo referido al punto de sujeción del conducto superior.

Para valor de m se tomará el que corresponde en el siguiente cuadro al diámetro y número de conductores empleados.

Valores de m

Diámetro en mm.	Número de conductores de la línea			
	2	3	4	6
3	4,0	4,8	5,3	6,0
4	5,0	5,4	6,6	7,5
5	6,6	7,9	8,8	9,9
6	8,6	10,0	11,5	13,0
7	10,6	12,7	14,1	15,9
8	12,0	14,4	16,0	18,0

En las líneas de conductores de diámetros intermedios se tomará el inmediato superior.

En los ángulos por cambio de alineación, por ser permanente el esfuerzo que tiende a derribar los apoyos, las condiciones de resistencia se aumentarán te-

niendo en cuenta el mayor esfuerzo que el ángulo determina, para evitar deformaciones que por la acción del tiempo pueden producirse.

En el sentido de la compresión resistirán tres veces la carga de todos los elementos que integran la línea, más el peso correspondiente a una columna de nieve de 10 centímetros de diámetro, salvo en los casos en que por las condiciones climatológicas no sea preciso tener presente los depósitos de nieve.

El empotramiento de los apoyos se determinará en armonía con las condiciones del terreno y con la resistencia de aquéllos, para evitar el hundimiento de los mismos o su cambio de posición.

En todos los cambios de dirección de más de 20°, los apoyos irán empotrados en un macizo de hormigón, sea cualquiera la naturaleza del terreno que los soporte.

En los trazados sobre vías de comunicación, de cada cinco apoyos, al menos uno irá empotrado en macizo de hormigón.

Art. 38. Dada la naturaleza de los conductores, dentro de las prescripciones exigidas en el art. 32, no se admitirán para las líneas aéreas secciones menores de 7 milímetros cuadrados, supuestos los conductores de cobre de más de 40 kilogramos de resistencia a la tracción. En los sitios de tránsito, el mínimo será de 10 milímetros cuadrados. Para los demás metales, la sección mínima deberá calcularse con el mismo coeficiente de seguridad.

En relación con la resistencia mecánica se tendrá en cuenta la temperatura mínima de la región en que se sitúe la línea, no admitiéndose que el material de los conductores deba estar sometido a esfuerzos superiores a un quinto del de rotura.

La flecha de los vanos de la línea se calculará dentro de las condiciones de resistencia para el material que quedan señaladas, teniendo en cuenta el peso del conductor, más la acción del viento, supuesta la presión de 125 kilogramos por metro cuadrado antes indicada, tomando como superficie expuesta a la acción

de aquél la longitud del conductor multiplicada por 0,70 del diámetro.

En las regiones en que por las condiciones climatológicas sean de temer depósitos de nieve sobre los conductores, se calcularán éstos teniendo en cuenta la acción del viento, y, separadamente, suponiendo que pueda la nieve formar una columna de 10 centímetros de diámetro, cuyo peso debe tomarse en consideración en vez de la dicha acción del viento. De los dos cálculos, acción del viento y peso de la nieve, se adoptará el que arroje resultados más desfavorables. En el caso de regiones excepcionalmente frías, se supondrá de 20 centímetros el diámetro de la columna de nieve.

La separación de los conductores en las líneas aéreas se determinará en relación con la tensión del servicio y la longitud de los vanos. Para baja tensión, hasta 50 m. de vano la separación no será inferior a 0,25 m.; para media, 0,50, y para alta tensión hasta 15.000 voltios, 0,75. Para mayores longitudes de vano, por cada metro desde 50 hasta 100, se aumentará la separación un centímetro, y para tensiones superiores a 15.000 voltios, por cada 1.000 voltios se aumentará la separación un centímetro sobre lo que la longitud del vano exija. Para vanos superiores a 100 m., y tensiones superiores a 50.000, se hará un estudio que justifique, en cada caso, la separación de los conductores.

Cuando los conductores de la línea estén a la misma altura y suspendidos por aisladores dispuestos en cadena, la distancia señalada se aumentará en el 70 por 100 del largo del péndulo formado por los aisladores.

El empalme de los conductores se efectuará por cualquiera de los sistemas en uso, aplicándolos, en cuanto a seguridad se refiere, en armonía con los vanos y sección del conductor, sin que dicho empalme constituya un punto débil de la línea. Cuando los empalmes no deban sufrir esfuerzo de tracción, su resistencia podrá ser inferior.

La retención de los conductores se efectuará por hilo,

que nunca será más duro que ellos, y que no pueda formar por su contacto con éstos par voltaico.

Los aisladores de las líneas aéreas podrán ser de porcelana, vidrio u otros materiales de análogas condiciones dieléctricas y mecánicas, siempre que no sean de temer accidentes por su fragilidad o posible deformación producidos por los movimientos propios de los conductores. La resistencia mecánica de los aisladores será tal que no constituyan bajo este aspecto un elemento débil del conjunto de la línea.

Antes de ponerse en servicio los aisladores, deberán ser ensayados eléctricamente, en seco y con lluvia de 3 milímetros por minuto y una inclinación de 45° con la vertical, conforme a lo dispuesto en el art. 33.

En las zonas en que sean de temer depósitos salinos o de polvo, que perjudiquen el aislamiento, deberá ser estudiado éste, en armonía con la importancia del inconveniente señalado.

Las condiciones mecánicas de los soportes, brazos, ménsulas, travesaños y crucetas serán calculadas con los mismos coeficientes de resistencia que las de los apoyos.

Art. 39. Cuando el cruce de una línea aérea sobre un inmueble, cercado, vía, etc., se haga con cable de 50 o más milímetros cuadrados de sección, y de resistencia mecánica superior a 40 kilogramos por milímetro cuadrado, el cruce constituirá una solución de continuidad en la línea, por lo que a su tensión mecánica se refiere. Cada apoyo estará provisto de dos aisladores por fase en el sentido de la línea; habrá un conductor de la longitud del cruce, cuyos extremos estarán sujetos en cada lado a uno de estos dos aisladores; en el otro aislador se hará terminación de línea; se unirán por un puente sin tensión mecánica entre los aisladores, los hilos de la línea con el de cruce, consiguiéndose de esta manera que en el vano de cruce los conductores no estén sometidos en ningún caso al esfuerzo de tracción de los dos vanos inmediatos.

Cuando el cruce se efectúe con el conductor menor

de 50 milímetros cuadrados, irá unido a otro cable de acero galvanizado de 25 milímetros cuadrados, o mayor sección, atados ambos directamente a distancias máximas de 1,50 metros, soldándose las ataduras.

El cable fiador irá sujeto en ambos apoyos del cruce en aisladores de retención, independientes de los que soporten el conductor, de manera que no pueda resultar un esfuerzo que tienda a arrancar el aislador del soporte. La retención de los extremos del cable fiador se hará con la mayor seguridad posible.

Si el sistema aislador es colgado, el conductor sobre el cruce será siempre cable de cobre de 50 milímetros cuadrados de sección, por lo menos, y de 40 kilogramos de resistencia a la tracción por milímetro cuadrado, no pudiéndose emplear suspensiones con una sola cadena de aisladores más que para esfuerzos de trabajo no superiores a 2.000 kilogramos. En el caso de que el vano determine por su longitud esfuerzos de tracción mayores, se aumentará proporcionalmente el número de suspensiones.

Los vanos inmediatos al cruce terminarán en cada lado en otro aislador por lo menos, independiente del que sujeta al cable del cruce. Si sólo hay un aislador en cada lado, ambos estarán colocados en el mismo plano vertical y en la misma dirección de la línea. La unión eléctrica, entre el conductor del cruce y los vanos inmediatos, se efectuará por otro colocado de modo que no soporte el menor esfuerzo de tracción de parte de aquéllos, quedando una solución de continuidad mecánica en el conductor.

La línea no formará ángulos en los apoyos del cruce, más que en casos de necesidad muy justificada.

Los postes o apoyos del cruce se colocarán, siempre que sea posible, en terreno firme, fuera de rellenos o terrenos movedizos; cumpliéndose este requisito se aproximarán lo más posible, en cuanto no se restrinja o entorpezca el tránsito, a las márgenes de la vía que se trate de cruzar, a fin de reducir el vano del cruce a la menor distancia posible.

Para mayor seguridad, los postes de cruce serán de material que no se pudra o corroa fácilmente, y se sujetarán al terreno por un macizo de hormigón que asegure su estabilidad.

La altura de los conductores será suficiente para que el conductor más bajo quede por lo menos seis metros sobre la parte más alta de la vía que se cruza; si se trata de algún caso especial de cruce de ferrocarril, carretera u otra vía terrestre que por circunstancias, también especiales, exija mayor altura, será ésta la necesaria para no crear la menor dificultad o peligro para el tráfico ni para las reparaciones u otras operaciones que pudieran ser necesarias en la vía cruzada.

Si el cruce es de vía navegable, marítima o fluvial, los conductores deberán con toda holgura permitir el paso de los buques sin que pueda alcanzarlos su arboladura, y, en defecto de ésta, la altura de aquéllos será de seis metros sobre la que corresponda a la más alta situación de la cubierta o piso de la embarcación en que puedan situarse las personas.

Si el cruce es sobre edificios o construcciones cualesquiera, y si se trata de líneas de alta o media tensión, la altura de los apoyos será tal que los conductores queden cuatro metros más altos que los puntos más elevados en que bajo aquéllos pueda colocarse un hombre. Se fijará en sitio perfectamente visible la necesidad de cortar la corriente en las líneas, en caso de incendio, antes de emplear las mangas de riego para la extinción del mismo.

Los conductores de baja tensión se colocarán en forma que no dificulten el tránsito sobre los edificios para las reparaciones y los casos de incendio.

Los soportes de los conductores en los postes de cruce, cuando son éstos de madera u hormigón armado, deberán ser pasantes con tuerca al extremo opuesto del aislador; y en los postes de madera deberá evitarse el astillamiento armándolos con uno o más zunchos de hierro en la punta.

Cuando el cruce sea sobre edificios, fábricas, cerca



dos, lugares concurridos, ferrocarril, canal, río o ría de navegación, los apoyos del mismo deberán ser metálicos o de hormigón armado, y estar empotrados sólidamente en hormigón u obra de fábrica.

Estas reglas de carácter general deberán ser ampliadas y mejoradas con un estudio especial, cuando el cruce deba ser mayor de 100 metros en un solo vano, por no poderse establecer apoyos intermedios.

Los cruces con caminos carreteros, de herradura y sendas de paso frecuente, se efectuarán sin otra precaución, colocando los dos postes de cruce lo más próximos posible, en cuanto no sean un obstáculo para la circulación por la vía que se cruza; los postes, dentro del sistema general, serán escogidos; si el ancho del camino es mayor de tres metros y fuese necesaria una mayor separación entre los apoyos, se aumentará la altura de seis metros señalada anteriormente para los conductores, tanto como se aumente el vano por encima de los tres metros.

Los cruces con otras líneas eléctricas, cuando éstas vayan a lo largo de carreteras, ferrocarriles, canales o vías navegables, se establecerán de modo que los conductores de la línea de menor tensión queden por bajo en el vano de cruce. Si el cruce de dos líneas eléctricas ha de hacerse fuera de una línea de comunicación, y una de aquéllas es de baja tensión, se efectuará colocando dos apoyos, uno a cada lado de la de menor tensión, a distancia tal, que los conductores de ésta queden a 50 o más centímetros de los apoyos, y la altura de éstos tendrá que ser suficiente para que el conductor más bajo de la línea de tensión mayor, si se desprende de uno de sus extremos del vano de cruzamiento, quede por lo menos un metro más alto que el superior de la línea de menor tensión.

Los conductores de éstas deben sujetarse a aisladores colocados sobre travesaños que vayan de uno a otro apoyo de la línea superior, para dar mayor rigidez y seguridad al sistema.

La misma disposición se adoptará cuando el cruce

sea de dos líneas de baja tensión, considerándose comprendidas en este caso las telegráficas y telefónicas.

Si el cruce es de una línea media o alta tensión con otra de análogas condiciones, el orden de colocación será el indicado y los apoyos del cruce se colocarán a uno y otro lado de la línea inferior, dejando entre los conductores de éstas y aquéllos una distancia de 1,5 metros.

La altura de dichos apoyos será tal que el conductor más bajo de la línea superior y el más alto de la inferior queden separados por una distancia de 25 por 100 de la que haya entre los apoyos. Además, en estos casos, los conductores de la línea superior serán cables de más de 25 milímetros cuadrados de sección.

Cuando la línea eléctrica cruce un monte o una masa de arbolado, para librar a los conductores del contacto de las ramas, se podrán cortar los árboles a mata rasa, dejando un ancho libre de tres metros a uno y otro lado de la línea, para mantener el cual, el propietario de ésta tendrá derecho a efectuar la poda de las ramas que por su crecimiento reduzcan aquella distancia. Las indemnizaciones a que se refiere el artículo 20 se harán extensivas a todo el ancho de la faja de terreno afectado por esta servidumbre y al arbolado que deba desaparecer.

Sólo se admitirán en caso de necesidad justificada los trazados paralelos de dos líneas de transporte de media o alta tensión; su separación será de más de 10 metros en general; por excepción justificada podrá reducirse ésta, y a falta de otra solución se admitirá su tendido sobre los mismos apoyos.

En el caso de que se empleen distintos, lo que debe siempre procurarse en todo el recorrido paralelo, los apoyos y demás elementos de ambas líneas tendrán doble resistencia y estabilidad que las exigidas para el resto de las líneas; a lo que se añadirá que los vanos sean de 25 por 100 menores del tipo normal, y el empotramiento de los apoyos citados asegurado con un macizo de hormigón. Si fueran precisas variaciones en

los cruces o trazados paralelos, se efectuarán las necesarias para cumplir lo que queda dispuesto. Las variaciones de una línea o instalación preexistentes, motivada por otra que se trata de establecer, serán ejecutadas por el propietario de la primera, a cuenta del de la segunda. En armonía con esto, toda línea deberá establecerse de modo que no entorpezca las servidumbres existentes más que lo necesario para su instalación y modificaciones precisas.

Cuando se empleen los mismos apoyos para líneas de características distintas, aquéllos serán de altura suficiente para que la separación de los conductores sea la que con carácter general se exige, quedando además, entre el más bajo de la superior y el más alto de la inferior, una diferencia de altura de 1,50 metros. Deberá también cumplirse la condición de que el conductor más bajo esté, en cualquier punto, a seis metros al menos de altura sobre el suelo.

Todas las líneas que vayan en los mismos apoyos se considerarán para los efectos de la explotación, conservación y seguridad en relación con las personas, a una tensión igual a la de la línea que la tenga más elevada.

Art. 40. El tendido de las líneas de transporte sobre vías públicas, y paralelamente a ellas, cuando están destinadas aquéllas al servicio directo de la energía para consumo público, se efectuará, por excepción justificada, a falta de otra solución, si se trata de líneas de alta tensión, y en tal caso, se tomarán las siguientes precauciones:

1.^a Los apoyos se situarán en los puntos de menor circulación y fuera de la parte destinada al tránsito rodado, dejando asimismo libres las cunetas, si las hubiere.

2.^a Los conductores serán cables de 25 milímetros cuadrados de sección por lo menos; las distancias de los apoyos serán a lo sumo de 25 metros, y, excepcionalmente, por razones que lo justifiquen, podrán llegar a 35 metros. Las condiciones de los apoyos,

brazos, soportes, aisladores y conductores serán tales que ofrezcan garantías de estabilidad dobles de las consignadas con carácter general.

3.^a En el caso de que por no ser recta la vía fuesen precisos trazados poligonales, los ángulos interiores no serán menores de 60° sexagesimales, y los apoyos se aproximarán lo necesario para que la proyección horizontal de los conductores no corresponda a la parte de vía destinada a la circulación.

Las condiciones de resistencia de los apoyos garantizarán su perfecta estabilidad y permanencia, y si para ello fueran precisas construcciones especiales, éstas se harán de modo que no dificulten la circulación ni las servidumbres preexistentes.

4.^a Los conductores de alta y media tensión, frente a fachadas de edificios habitados, se establecerán de modo que la separación de las ventanas y balcones, o sitios en que puedan colocarse las personas, sea tal que queden dos metros libres sobre el alcance de éstas.

5.^a En los recorridos de líneas de alta o media tensión que correspondan a lugares urbanizados, o donde la circulación es frecuente, a la garantía anterior se unirá, para conductores de sección menor de 50 milímetros cuadrados, la de asegurar éstos con cable fiador que produzca los mismos efectos indicados para los cruces, y si las variaciones de alineación de la vía, las condiciones del terreno de sus márgenes, los edificios u otras causas obligan a efectuar cruces, su número se reducirá en lo posible, y en ellos se tomarán las mismas precauciones indicadas en el art. 40, con carácter general para los mismos.

Cuando en una vía, a lo largo de la cual se trate de tender una línea de transporte de alta tensión, existan otras líneas, telegráficas y telefónicas, el tendido de aquélla se hará en el lado opuesto de la vía al que se encuentren éstas (las telegráficas y telefónicas), y si existieran líneas de comunicación en ambas orillas, se efectuarán los traslados y variaciones necesarios para que todas las de esta clase queden al mismo lado.



de la vía. El traslado se efectuará por la entidad propietaria, a cuenta de la que quiera establecer la nueva línea eléctrica.

Cuando el trazado de una línea de transporte de corriente eléctrica de media o alta tensión deba ir por circunstancias inevitables total o parcialmente paralelo a conducciones telegráficas o telefónicas, la separación que se establezca entre aquéllas y éstas no será inferior a 10 metros. Para evitar en las últimas los efectos de inducción de las líneas de corriente alterna, se efectuará el cambio mutuo de posición de los conductores de las líneas de comunicación, o su alternación, de modo que queden éstas divididas en un número par de trozos o fracciones de igual longitud, si dichas líneas, telegráficas o telefónicas, son bifilares; y si la comunicación es unifilar o existe más de una línea de un solo conductor, la variación de posición de los conductores se efectuará en la línea de transporte.

Si el ancho de la vía fuese inferior a 10 metros, se efectuarán las variaciones indicadas en el sentido horizontal, o en el vertical de la línea de transporte o de las líneas telegráficas o telefónicas. Cuando se trate de líneas de servicio de tracción, el trazado y situación de los conductores se ceñirá a las condiciones que la tracción exija.

En las líneas aéreas de baja tensión próximas a los edificios, o colocadas sobre brazos o palomillas sujetos a sus muros, los conductores estarán suficientemente separados para que no sean tocados inadvertidamente por personas que puedan asomarse a las ventanas, balcones, terrazas, etc., no excluyendo esta condición que los conductores estén aislados.

Las derivaciones para la alimentación de receptores de energía se efectuarán arrancando de un apoyo o instalación especial hecha en la línea de origen, nunca de vano alguno, y si necesariamente han de tener parte de su recorrido al alcance de las personas, en esa parte, además del aislamiento de los conductores, irán éstos protegidos por una cubierta que impida el que inad-

vertidamente puedan ser tocados y sufran los efectos de la humedad.

Si la línea derivada es para corriente de media o alta tensión, se situarán los conductores en forma tal que, conservando la altura de seis metros sobre el suelo, queden, como se ha indicado para las líneas, dos metros sobre los puntos del edificio a que puedan llegar las personas. Cuando sea imposible esta distancia se cubrirán los conductores con una pantalla metálica, o irán en forma de cable armado, y en ambos casos la cubierta metálica se pondrá en comunicación con tierra. En las derivaciones podrá reducirse la sección de los conductores, supuestos de cobre, a cinco milímetros cuadrados y a la necesaria equivalente en los demás metales, siempre que en ellas no haya vanos de más de 10 metros.

En el arranque y terminación de las líneas de gran longitud, y a distancias máximas de 20 kilómetros, para su seccionamiento deberán establecerse cortacircuitos e interruptores, o desconectores que al abrir, pongan en comunicación con tierra la línea o parte de ella que se trate de separar del circuito eléctrico. Si la tensión de servicio es mayor de 15.000 voltios, o la corriente pasa de 200 amperios en las de menor tensión, se establecerán interruptores con exclusión de desconectores. La misma precaución se tomará con una línea mixta, al paso de conducciones aéreas o subterráneas.

Si hay razones de importante economía, o dificultades justificadas que se opongan al establecimiento de líneas independientes, podrá fijarse la de comunicación en los mismos apoyos que la de trabajo, siempre que se trate de comunicación directa sin derivaciones permanentes.

En tal caso el conductor superior de la línea telefónica quedará 1,50 metros más bajo que el inferior de la de trabajo cuando la longitud del vano no sea superior a 30 metros; para mayores vanos, por cada metro se aumentará aquella separación un centímetro, tomándose siempre la precaución de que la flecha de

la línea telefónica sea igual o mayor a la de la línea superior. La línea telefónica así establecida se considerará como de alta tensión para los efectos de este Reglamento, relacionado con la seguridad de las personas y de las cosas.

Las partes metálicas de las estaciones telegráficas o telefónicas, que estén en comunicación eléctrica con los conductores de la línea, podrán estar descubiertas desde 2,5 metros del piso para arriba, pero deberán protegerse desde esta altura hasta el suelo.



ÍNDICE DE MATERIAS

	Págs
CAPÍTULO PRIMERO. — Electricidad y magnetismo.	1
A. <i>Generalidades.</i>	1
Objeto de este capítulo.	1
Energía.	4
Cuerpos conductores y aisladores.	9
Circuito eléctrico.	11
B. <i>Magnitudes eléctricas y unidades.</i>	13
Diferencia de potencial y fuerza electromotriz.	13
Cantidad de electricidad e intensidad de la corriente.	20
Resistencia.	23
Potencia.	26
Unidades.	29
C. <i>Magnetismo y electromagnetismo.</i>	32
Imanes.	32
Campo magnético.	34
Electromagnetismo.	40
Inducción electromagnética.	46
Aparatos de medidas eléctricas.	51
CAPÍTULO II. — Descripción de una central eléctrica.	58
¿Qué es una central eléctrica?	58
Toda central eléctrica se divide en dos partes.	63
Lo que debe haber en una central eléctrica (desde el punto de vista eléctrico).	67
CAPÍTULO III. — Dinamos y alternadores.	72
Principio de las dinamos y de los alternadores.	72
Campo magnético inductor.	77



	<u>Págs.</u>
Inducido.	81
Corriente continua.	85
Corriente alterna.	90
Comparación entre la corriente continua y la corriente alterna.	98
 CAPÍTULO IV. — Construcción de dinamos.	 108
Generalidades.	108
Inductores.	113
Inducido.	125
El colector y las escobillas.	148
 CAPÍTULO V. — Funcionamiento de las dinamos.	 153
Producción de chispas en las escobillas y calado de las mismas.	153
Excitación de las dinamos.	159
Regulamiento de la tensión.	178
Encabamiento de las dinamos.	182
Conexión de las dinamos.	188
Defectos de funcionamiento de una dinamo.	197
 CAPÍTULO VI. — Construcción de alternadores.	 205
Generalidades	205
Inductor (rotor).	208
Inducido (estator).	214
Excitatriz.	227
 CAPÍTULO VII. — Funcionamiento de los alternadores.	 229
Velocidad	229
Regulamiento de la tensión.	232
Acoplamiento o enlace de los alternadores.	235
Defectos en el funcionamiento de los alternadores.	243
 CAPÍTULO VIII. — Acumuladores.	 248
Definición y funcionamiento de los acumuladores.	248
Diversos modos de cargar una batería de acumuladores.	257
Papel de una batería de acumuladores.	266

	<u>Págs</u>
Cuidados que se han de tener con una batería de acumuladores.	271
CAPÍTULO IX. — Transformadores.	276
Transformación de la energía eléctrica	276
Principio de los transformadores estáticos.	279
Empleo de transformadores estáticos.	287
Transformadores rotativos.	295
CAPÍTULO X. — Cuadros de distribución.	299
A. <i>Disposición de los aparatos.</i>	299
Aparatos de puesta en marcha.	300
Aparatos reguladores.	308
Aparatos protectores	310
Aparatos de medida.	326
B. <i>Cuadros de distribución.</i>	330
Disposiciones generales de los cuadros de distribución.	330
Instalaciones de baja tensión (corriente continua).	333
Instalaciones de alta tensión (corriente alterna).	340
CAPÍTULO XI. — Canalizaciones eléctricas.	345
Transporte y distribución de la energía eléctrica.	345
Líneas aéreas.	362
Canalizaciones subterráneas.	368
CAPÍTULO XII. — Estaciones transformadoras y subcentrales.	373
Estaciones transformadoras	373
Subcentrales.	375
APÉNDICE.	377

INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

POR

R. CABAUD

Ingeniero electricista (E. C. L., y F. S. E.)

La enseñanza profesional se encuentra en período de organización, pero su instalación exige mucho tiempo y dinero. Solamente una íntima minoría de nuestros trabajadores podrá beneficiarse de ella en las grandes ciudades; pero sus beneficios tardarán mucho tiempo en llegar hasta la masa del pueblo de trabajadores encanecidos ya en su oficio y diseminados por todas partes hasta los rincones de las provincias. Para éstos sólo existe un recurso, el *libro*, el libro bien escrito que puedan tener siempre a su alcance, que siempre esté pronto a responder, que haya previsto todas las dificultades y sepa resolverlas de una manera clara; el libro abundantemente ilustrado que enseñe a manejar cada herramienta y exponga sus pequeños secretos; el libro, que junto a una enseñanza teórica sólida, enseñe la práctica que le es indispensable.

Consta de dos tomos en octavo, de 304 páginas, ilustrados con 155 grabados intercalados en el texto.

Manual del Pintor

Colores y Barnices

POR

Ch. Coffignier

Ingeniero químico (F. P. C. P.)
Ex Director de Fábricas de Colores y Barnices

La fabricación de los colores y barnices constituye dos industrias a menudo reunidas, pero a veces son distintas. Si la preparación de los colores está establecida desde hace mucho tiempo, es cierto que la de los barnices, más reciente, ha experimentado una evolución notable desde un cuarto de siglo. El presente volumen está destinado a los obreros que deseen tener conocimientos generales y precisos sobre una industria de la que sólo conocen una pequeña parte. Se dirige igualmente a todos los que emplean productos fabricados y con frecuencia sólo tienen un conocimiento muy vago, o exacto, de las propiedades de los colores y barnices.

Un tomo en octavo, de 202 páginas, ilustrado con 37 grabados en el texto, esmeradamente impreso.

Importante obra de la Biblioteca Salvat

INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARTICULARES

Alumbrado, Calefacción, Timbres y Cuadros indicad

por

P. Maurer

Ingeniero electricista; Profesor de la Escuela Mecánica y Electricidad industriales y de la Escuela de Electricidad de Breguet

Empieza el autor describiendo en el primer capítulo los diferentes sistemas seguidos en la distribución de las corrientes eléctricas, para entrar de lleno, en el segundo capítulo, en el estudio detallado de las instalaciones propiamente dichas, considerando los contadores, circuitos de alumbrado, lámparas, disposición y reparto de los focos luminosos, cálculo de los conductores, etc., y exponiendo algunos modelos de instalaciones. Los montajes prácticos y todo cuanto se refiere a la ejecución definitiva de una instalación constituyen la materia o tema del tercer capítulo. Siguen luego los capítulos relativos a la calefacción y al montaje de timbres y cuadros indicadores, estudiándose con todo detalle en el primero los diversos aparatos hoy en uso, radiadores, estufas, hornos, utensilios de cocina y uso doméstico, etc., y en el segundo las diversas clases de timbres y bocinas eléctricas, cuadros indicadores, sistemas anunciadores luminosos, pilas, etc. Numerosos grabados y esquemas ilustrativos contribuyen a aclarar el texto.

Forma un tomo en octavo, de 304 páginas, ilustrado con 147 figuras en negro intercaladas en el texto.



MANUAL DE PERFUMERÍA

por

I. Lazennec

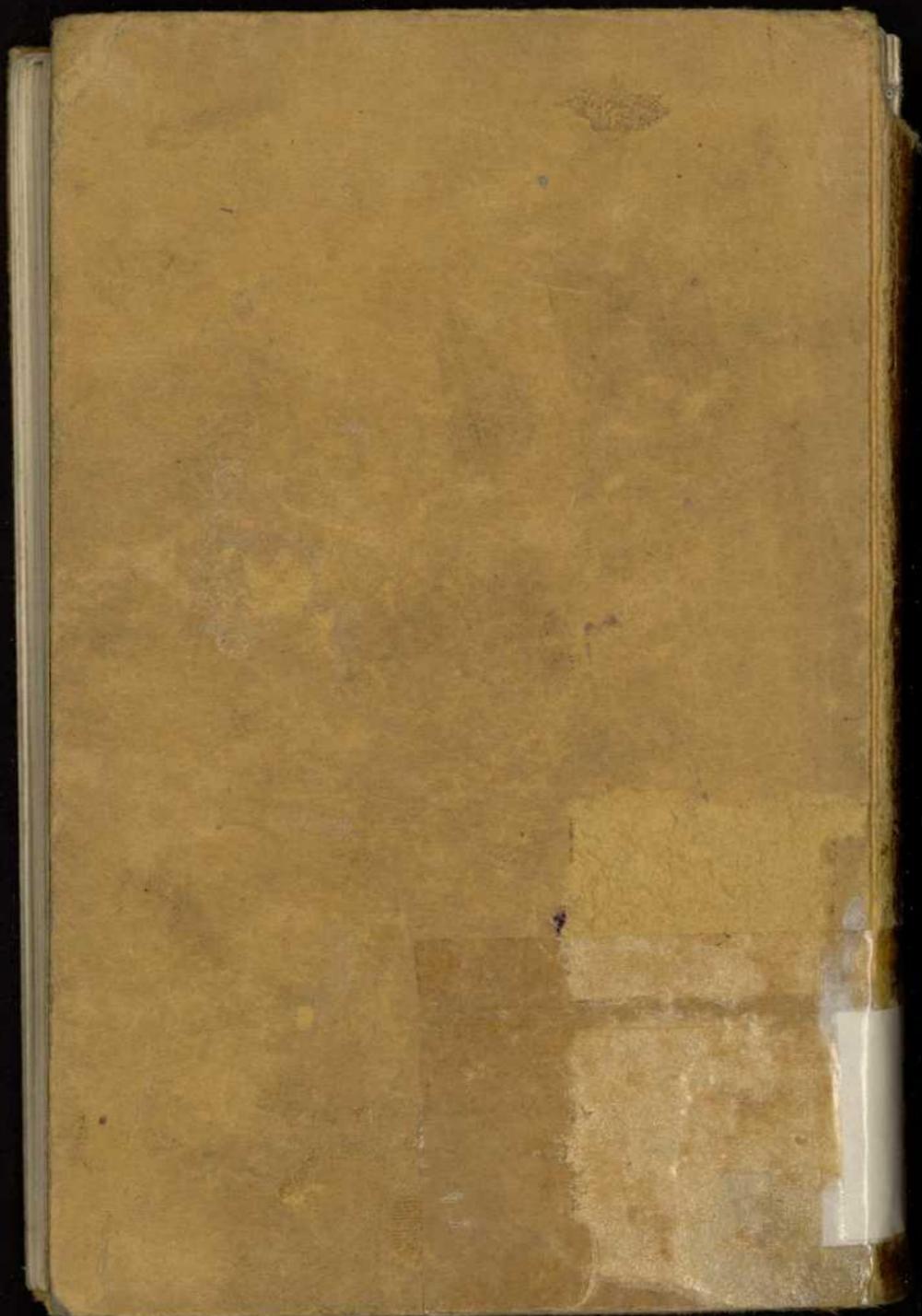
Preparador del Instituto de Química aplicada
de la Facultad de Ciencias de París,
Doctor de la misma Universidad

El esfuerzo científico de la química moderna ha venido a ilustrar esta industria bajo un nuevo aspecto, y a los grandes descubrimientos de algunos sabios se debe la fabricación de productos sintéticos, como la vainilla, el azmicle y la heliotropina, para no citar más que los principales. Como su hermana mayor, la industria de las materias colorantes, derivadas del alquitrán de hulla, la industria de perfumes sintéticos ha crecido al tiempo que se acumulaban en los laboratorios los descubrimientos de los investigadores. Desde hace algunos años, sobre todo gracias a la práctica de nuevos métodos de trabajo, ha surgido un verdadero florecimiento de los nuevos productos sintéticos, que ha hecho de este ramo uno de los más atractivos y prósperos de la industria química. Contrariamente a lo que se podría creer, el descubrimiento de estos productos sintéticos no ha ocasionado perjuicio alguno a la industria de los perfumes naturales.

Forma un tomo en octavo, de 202 páginas, ilustrado con 83 figuras en negro intercaladas en el texto.







RECIPROCA

DE

REPUBLICA

D-2

980