

BIBLIOTECA DEL ELECTRICISTA PRÁCTICO

LÁMPARAS  
ELÉCTRICAS



25457

CALLACH EDITOR

24

BARCELONA

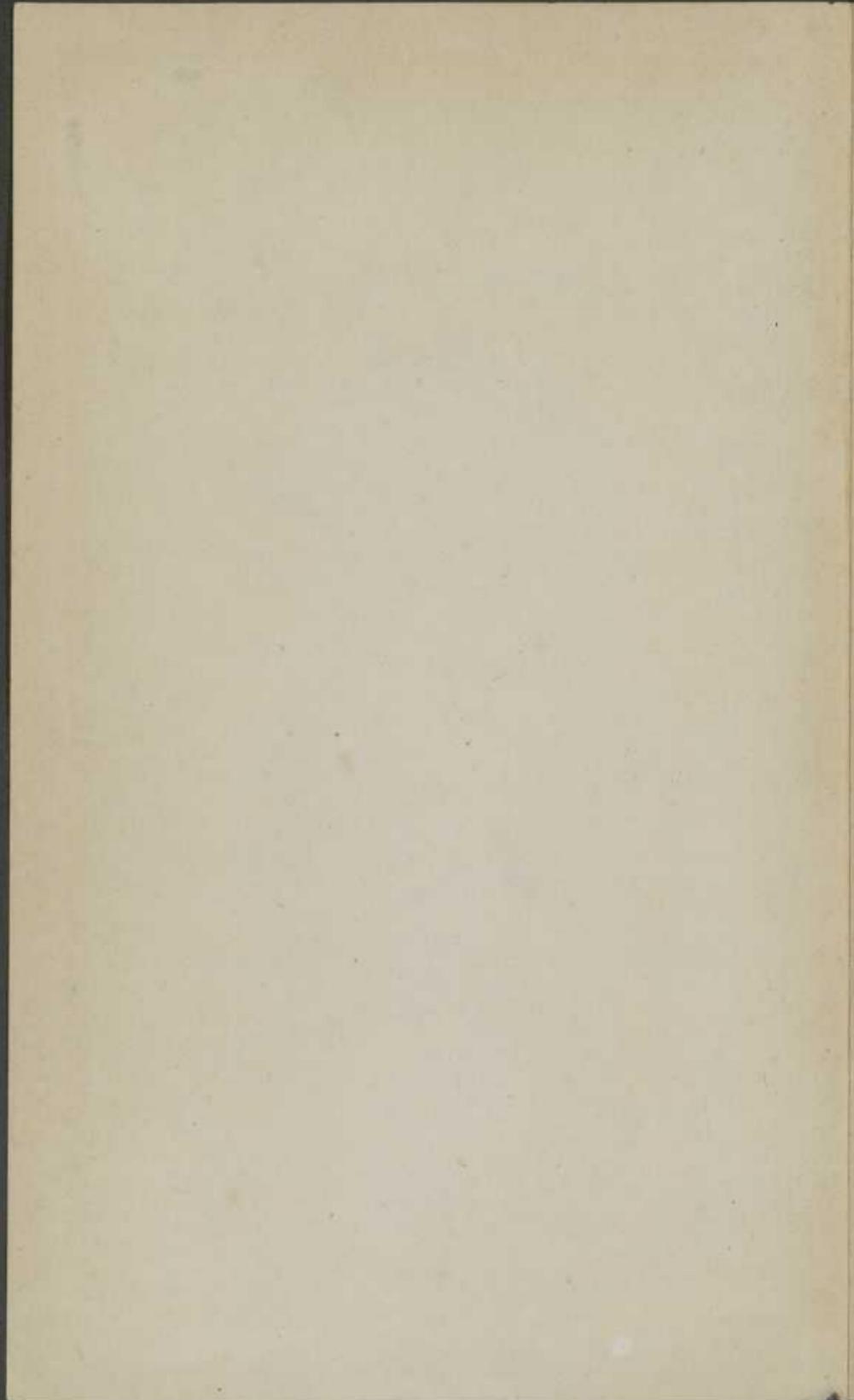
Prætor die secunda  
MCM

Edm

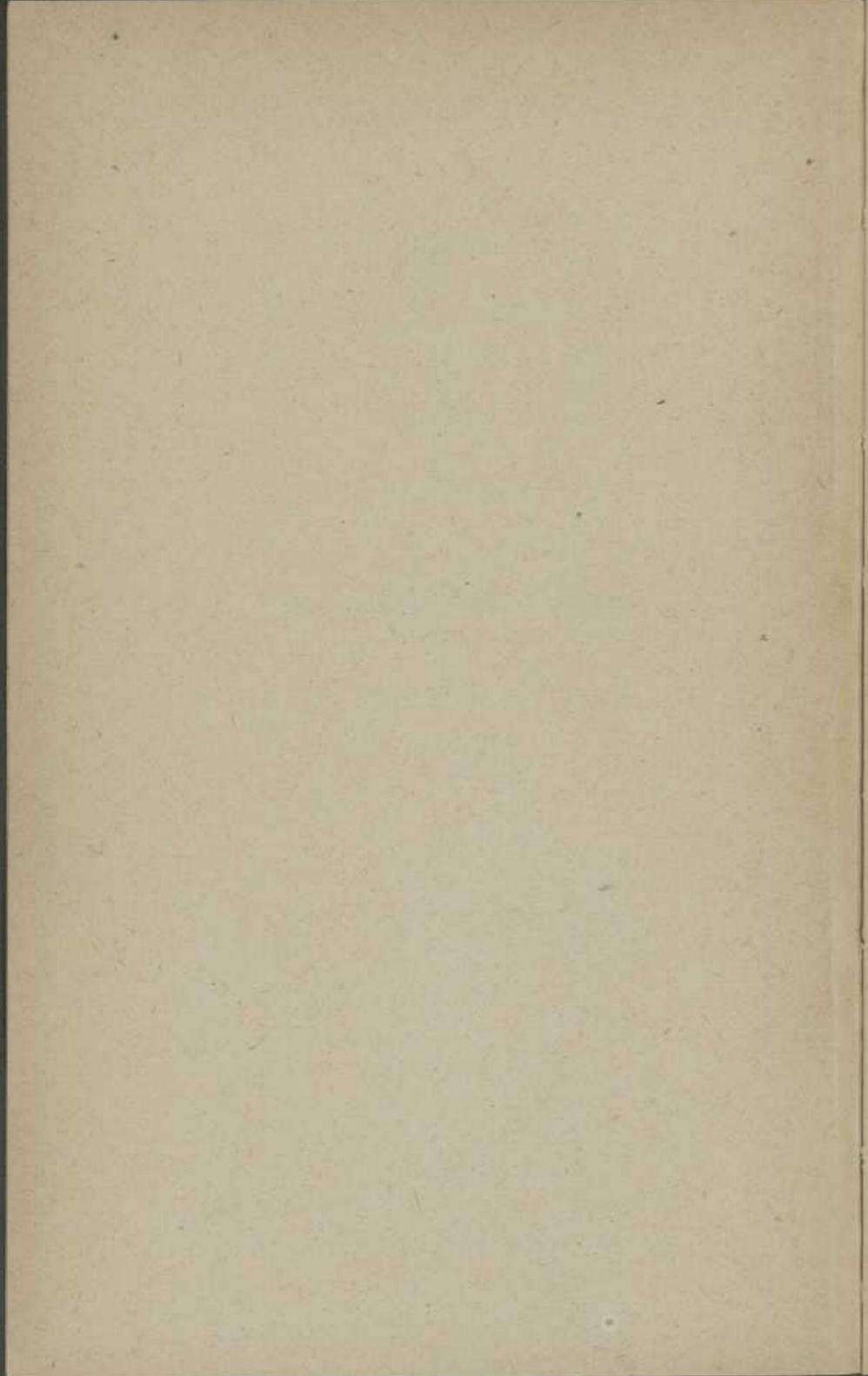
25457

~~21677~~

368



LÁMPARAS ELÉCTRICAS



# BIBLIOTECA DEL ELECTRICISTA PRÁCTICO

SERIE PRIMERA (Volúmenes 1 a 30)

PUBLICADA BAJO LA DIRECCIÓN

DE

D. RICARDO CARO Y ANCHÍA

LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS, OFICIAL DE TELÉGRAFOS  
Y PROFESOR DE ELECTROTECNIA Y TELEGRAFÍA EN LA  
ESCUELA INDUSTRIAL DE TARRASA

TOMO XXIV

## Lámparas Eléctricas

— POR —

D. Antonio Ferrer Dalmau

Ingeniero industrial

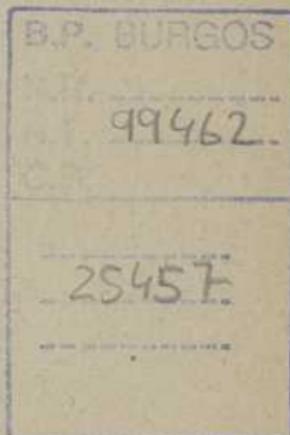
Ex Ingeniero de la Compañía Barcelonesa de Electricidad  
y de la Sociedad «Riegos y Fuerzas del Ebro»

SEGUNDA EDICIÓN

«CALPE»

Compañía Anónima de Librería, Publicaciones y Ediciones

MADRID-BARCELONA



---

ES PROPIEDAD

Derechos de traducción  
reservados

---

## GENERALIDADES ACERCA DE LA LUZ

---

La luz es la sensación producida en nuestra vista por un movimiento vibratorio sumamente rápido del éter, de manera que por su causa productora, la luz es algo análogo al calor y a la electricidad, diferenciándose estas energías entre sí solamente en la rapidez con que aquellas vibraciones transversales del éter tienen lugar, y por el órgano humano capaz de percibir la existencia de ellas. Esta teoría vibratoria, que científicamente explica cuantos fenómenos ocurren en la óptica, ha venido a confirmar con sus hechos prácticos el principio fundamental, establecido como axioma, de que la *energía* es *única*, y que ella tiene diferentes modalidades para ponerse de manifiesto. Esta unidad de origen, ha quedado de nuevo confirmada por la facilidad con que una se transforma en otra.

Cuando al éter interatómico que llena los poros de los cuerpos, se le comunica un movimiento vibratorio por medios especiales, estos cuerpos se calientan, se convierten en luminosos, o bien, se electrizan, según sea el número de vibraciones que se comuniquen al éter.

Concretándonos al caso que nos interesa, tendremos que, al aparecer esta vibración especial, el

cuerpo se pondrá luminoso, y habremos obtenido una *lámpara*. Lámparas son, pues, los aparatos destinados a dar luz, y como ésta no puede ser obtenida, sino a costa del consumo de otra energía equivalente, tendremos distintas clases de lámparas que pueden ser químicas o eléctricas, según sea la clase de energía consumida.

En esta obra solamente trataremos de estas últimas.

De lo dicho se infiere que llamaremos lámpara eléctrica a los aparatos destinados a transformar la energía eléctrica en luminosa. Esta transformación puede lograrse de tres modos distintos:

1.º Fundándose en la propiedad que tienen todos los cuerpos de ofrecer cierta resistencia al paso de la corriente; esta dificultad produce una pérdida de energía, que al ser transformada en calor, da origen a la incandescencia de una pieza o elemento del aparato. Las lámparas que pertenecen a este tipo, se llaman de *incandescencia*.

2.º Otros aparatos utilizan las propiedades luminosas, que tienen las chispas eléctricas que saltan entre dos electrodos; a esta clase de lámparas se les ha denominado *arcos voltaicos* o simplemente *arcos*.

3.º Finalmente, existen otras fundadas en la luminiscencia que irradian ciertos gases, cuando, convenientemente enrarecidos, son atravesados por la corriente eléctrica. Estas lámparas constituyen los *tubos Moore*.

En los capítulos sucesivos estudiaremos con el detenimiento compatible con las dimensiones de

esta obrita, cada una de estas tres clases de lámparas, procurando hacerlo de un modo genérico y apartándonos en lo posible de los pormenores de cada lámpara, porque, aparte de ser imposible el estudio de cada tipo, convertiría este libro en un catálogo enteramente desprovisto de utilidad.

El estudio que nos proponemos hacer en el curso de este trabajo, podremos condensarlo en el adjunto cuadro.

|        |                   |   |                                |  |
|--------|-------------------|---|--------------------------------|--|
| Luz... | {<br>Generación.. | { | Lámparas de incandescencia.    |  |
|        |                   |   | {                              | Lámparas de arco. . . { De electrodos. |
|        |                   |   |                                | { De vapores de mercurio.              |
|        | {<br>Medición...  | { | Lámparas de gases enrarecidos. |  |
|        |                   |   | Unidades.                      |  |
|        |                   |   | Fotometría.                    |  |

## CAPITULO PRIMERO

### LÁMPARAS DE INCANDESCENCIA

#### FILAMENTO DE CARBÓN

La teoría de las lámparas de incandescencia es sumamente sencilla: se funda en la propiedad que tienen los cuerpos conductores de ponerse incandescentes cuando la intensidad que por ellos circula es mayor que la que normalmente pueden admitir. Su fundamento técnico está en la ley de Joule, la cual nos dice que el calor desarrollado al pasar una corriente eléctrica por un cuerpo conductor es:

$$C = 0'24 RI^2 t$$

Esta fórmula significa que el calor desarrollado en un conductor, es proporcional a la resistencia de éste, al cuadrado de la intensidad y al tiempo.

Si este calor no se disipa por el aire que envuelve al cuerpo, producirá un aumento de temperatura en el mismo y, por consiguiente, podrá determinar su incandescencia, convirtiéndolo en foco luminoso. La obtención de un cuerpo buen conductor y que al mismo tiempo ofreciera relativa resistencia, lograronla ya, en 1845, King y Starr utilizando delgadísimos hilos de carbón de retorta, y el impedir

que el calor se disipara y, por tanto, se concentrara en el cuerpo, lo consiguieron igualmente dichos señores, encerrando el filamento en una botella de la cual habían extraído el aire. Así, pues, en aquella fecha ya quedó construída una lámpara completamente análoga a las que, transcurridos treinta años, lanzó Edison al mercado y que le dieron fama universal.

Pero como ningún invento puede ir desligado del conjunto de adelantos que experimenta la ciencia, Starr y King no pudieron ver aplicada su lámpara, a causa de las dificultades que presentaba la obtención de la corriente eléctrica, y el precio sumamente elevado a que resultaba, pues solamente disponían de baterías de pilas, que, como es sabido, son de corta duración y caro entretenimiento.

Creada entonces la lámpara de incandescencia, sin práctica utilización industrial alguna, fué pronto olvidada por el público, hasta que, obtenido el generador de corriente continua industrial, cual es la *dinamo*, el mundo pudo disponer de energía eléctrica en buenas condiciones económicas. A partir de este momento, vemos reanudarse las investigaciones y aparecer, una tras otra, las lámparas de filamento de carbón de Edison, de Swan, Lane Fox, Muller-Nothomb y Gerard; construídas todas ellas conforme al patrón cortado por sus precursores los señores Starr y King. La diferencia entre estas lámparas estriba sólo en la forma y materiales que componen el hilo carbonoso, pues mientras Edison, los hace de *fibras de algodón carbonizado*, formando un bucle, Swan las obtiene mediante la carboniza-

ción de un hilo de algodón apergaminado, por haberlo mojado en ácido sulfúrico; Lane-Fox, por las fibras calcinadas de lino; Naxim por recortes de cartulina bristol, que los tuesta colocándolos entre dos placas de metal incandescente; Muller-Northomb por la carbonización de pergamino, y finalmente, Gerard, utilizando cilindritos o hilos de carbón de la misma pasta con que en la actualidad se fabrican los electrodos de los arcos voltaicos.

En lo que todos están conformes, desde Starr y King, es en encerrar el filamento dentro de un vaso herméticamente cerrado, del que previamente se ha extraído el aire, con lo que se logran dos efectos: el primero, ya dicho, de obtener mayor concentración del calor y mayor rendimiento de la lámpara, y el segundo, evitar, que el oxígeno del aire se combine con el carbón del filamento y lo destruya con gran rapidez, casi instantáneamente.

**Partes esenciales de las lámparas.** — Las partes esenciales que comprende una lámpara de filamento metálico o de carbón, son:

- 1.º El filamento.
- 2.º La ampolla, que lo recubre.
- 3.º El casquillo o parte metálica, que tiene por objeto, enlazar el filamento con la línea de alimentación, y
- 4.º Los hilitos que enlazan el filamento con el casquillo.

**Filamento.** — El filamento de las lámparas que estamos estudiando, está formado de materia car-

bonosa, de formas más o menos variadas, que dependen de cada casa constructora; pero en general, afecta la forma de uno o más bucles (fig. 1), según sea la longitud que haya de tener el filamento para que la lámpara dé una intensidad determinada.

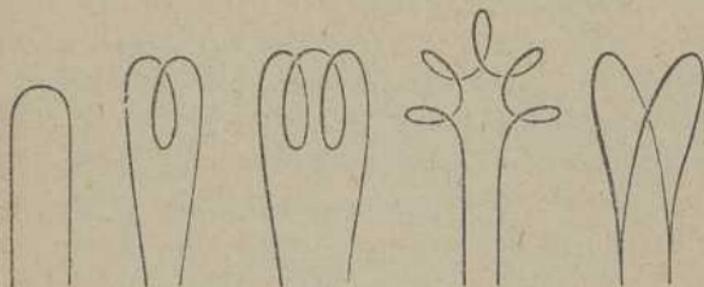


Fig. 1

En general, los filamentos tienen que reunir determinadas condiciones para ser prácticos; éstas son:

a) Ser de *estructura uniforme* en toda su longitud, a fin de que no presente puntos de mínima resistencia, que, a más de ponerse irregularmente incandescentes, constituirían puntos débiles por donde se iniciaría rápidamente la destrucción de la lámpara.

b) Deben ser relativamente *elásticos*, puesto que es inevitable que tanto durante la construcción, transporte y uso, las lámparas estén sujetas a sacudidas y golpes bruscos, que romperían el filamento de ser éste esencialmente rígido.

c) Deben tener su *superficie lisa* y como *pulimentada*, a fin de dar el máximo de rendimiento luminoso, y

d) Deben tener suficiente *resistencia eléctrica* para que no precisen tensiones superiores a 150 voltios. Esta resistencia se obtiene, a más de la calidad de los materiales, por las diminutas dimensiones que se dan a sus diámetros que varían entre 0'055 y 0'2 milímetros.

**Ampolla.** — Esta envolvente de vidrio encierra los filamentos, a fin de resguardarlos de la acción de elementos externos y también para poder montarlos fuera del contacto del aire. Las formas que

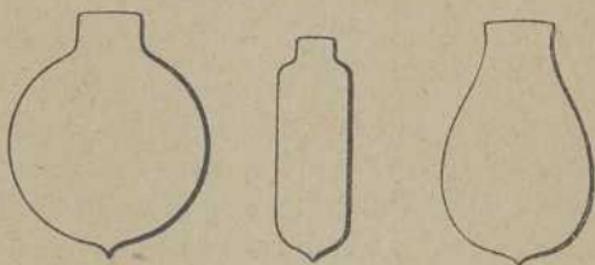


Fig. 2

se dan a las ampollas son sumamente variadas, y no están sujetas a regla alguna.

Sin embargo, la forma más común es la de pera; también hay ampollas cilíndricas y esféricas (fig. 2).

**Casquillo.** — Está constituido por una pieza de latón que recubre el cuello de la lámpara y sirve para establecer el contacto entre el filamento y el portalámparas. Para que esta conexión sea fácil de ejecutar, disponemos de dos métodos:

*Casquillo de rosca*, cuando exteriormente presenta un filete de rosca, que encaja en el entrante

del portalámparas, que vendrá a ser la tuerca, o bien,

*Casquillo de bayoneta*, cuando el portalámparas y el casquillo se acoplan de un modo análogo a las bayonetas en los fusiles.

Este último modelo solamente lo emplean contadas Compañías, por lo que el método universalmente empleado es el de rosca. Para facilitar su empleo, todas las casas constructoras han adoptado pasos de rosca iguales, así para las lámparas, como para los portalámparas, y por ello se ha denominado *rosca universal*. Aquellas compañías suministradoras de fluido eléctrico que no cuentan por vatios la energía consumida por los abonados, sino por lámparas de intensidad convenida, emplean roscas especiales, para cada potencia luminosa, a fin de impedir el cambio de una lámpara de determinada intensidad luminosa por otra superior.

**Hilos de enlace.** — Se llaman así los hilitos metálicos que empalman el filamento con el casquillo.

### **Fabricación de lámparas de filamento de carbón.**

— Las operaciones que comprende la fabricación de una lámpara de filamento de carbón, son:

- 1.º Preparación del filamento.
- 2.º Montaje en el soporte.
- 3.º Fijación de la ampolla.
- 4.º Extracción del aire.
- 5.º Terminación de la lámpara.
- 6.º Comprobación.

**Preparación del filamento.** — Concretándonos a los métodos modernos, pues muchos de los que podríamos citar no tienen valor alguno industrial, dividiremos esta preparación en las siguientes fases:

- a) Preparación de la pasta y moldeado.
- b) Carbonización del filamento.
- c) Refuerzo o carburación del filamento obtenido, y
- d) Recocido.

**Preparación de la pasta y moldeado.** — Los filamentos de carbón empleados en todas las fábricas del mundo, se obtienen mediante el moldeado de una pasta formada de celulosa disuelta en un líquido adecuado. Una fórmula que ha dado inmejorables resultados es la formada de

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| Algodón hidrófilo o paja de arroz. | 50 gramos |
| Cloruro de zinc .....              | 1,000 »   |
| Agua destilada .....               | 500 »     |

Disuelto perfectamente el algodón, se calienta el líquido resultante hasta que toma la consistencia de jarabe y adquiere el aspecto de gelatina; en este estado es perfectamente moldeable. Esta masa gelatinosa se coloca luego dentro de un cilindro, cuyo fondo presenta una serie de orificios, a los cuales, pueden atornillarse otros tubos de platino, de diámetros sumamente pequeños, que constituyen verdaderas *hileras*. Si sumergimos el fondo, con las hileras, en un recipiente lleno de alcohol

metílico a 90°, bastará empujar el émbolo para que por los orificios de las hileras salgan hilos de pasta de color azulado, que se solidifican por enfriamiento. Se lavan bien estos hilos y se cortan en trozos de longitud conveniente y ya están en condiciones de poder ser moldeados y carbonizados.

En algunos casos, para aumentar la intensidad luminosa de las lámparas, se añade *ácido bórico* al filamento. Esta adición puede hacerse al preparar la pasta, y en este caso, la preparación de los hilos no sufre modificación alguna; pero si se quiere que el ácido bórico no impregne todo el filamento, bastará sumergirlos, en cuanto estén secos y lavados, en una disolución casi saturada de ácido bórico en agua, hasta que queden recubiertos de una capa blanca, obtenida la cual, se sacan del vaso y se dejan secar.

**Moldeado.** — Los hilos que se obtienen de la operación anterior, son casi rectilíneos, flexibles, por lo que reúnen cuantas condiciones son apetecibles para poder darles las formas que se deseen, teniendo todas ellas por finalidad, el reducir el espacio ocupado a fin de que la lámpara sea de pequeñas dimensiones. Diferentes son las formas que se dan al filamento; en lámparas de poca tensión, toma la forma de una *U*; si la tensión es mayor, mediante moldes especiales, se les dan uno o más bucles. Para tensiones aún más altas, se les da la forma estrellada, y en general, la forma dependerá de la tensión a que tenga que trabajar la lámpara.

**Carbonización.** — Una vez moldeado el filamento, precisa carbonizarlo, para lo cual se colocan 400 ó 500 de ellos dentro de crisoles de plumbagina y después de rellenarlo completamente con polvo de carbón, se cierra herméticamente el crisol, poniendo barro en la junta a fin de impedir por completo toda comunicación de los filamentos con el aire exterior.

Estos crisoles se colocan en un horno análogo a los de cocción de la porcelana, sosteniéndose durante 10 ó 12 horas una temperatura de 600°, pasadas las cuales se eleva al rojo blanco, o sea, a 1500°. Al cabo de 5 ó 6 horas, se apagan los fuegos, y en cuanto se ha enfriado el horno, se retiran los crisoles, y cuando éstos tienen la temperatura del medio ambiente, se abren para sacar los filamentos y separar el polvo de carbón que se ha adherido a la superficie de ellos.

Entonces se clasifican los filamentos, midiendo sus diámetros con un micrómetro.

Como docta práctica se admite que el diámetro de un hilo o filamento crudo disminuye en un tercio después de la cocción.

**Refuerzo o carburación.** — Tiene por objeto aumentar las condiciones de resistencia mecánica, al mismo tiempo que dar uniformidad a la sección de los filamentos y hacerles perder la porosidad e higroscopicidad que tienen.

Consiste en revestir el filamento de una capa de carbono sumamente fino y adherido al filamento primitivo que le sirve de núcleo. Este carbono se

obtiene disociando por el calor un hidrocarburo cualquiera. En la práctica puede ser éste líquido o gaseoso.

Si el hidrocarburo que debe dar el carbono es líquido, bastará sumergir el filamento en él y luego hacer circular por éste una corriente eléctrica que lo pondrá incandescente; como los aceites minerales son malos conductores de la electricidad, se producirá la disociación del líquido depositándose el carbón, siendo el depósito tanto mayor, cuanto más elevada sea la temperatura, y como ésta es mayor en los puntos en que el filamento estaba estrangulado, tendremos, que al poco tiempo de reforzarse, todo él tendrá aproximadamente la misma sección.

Generalmente se utilizan hidrocarburos gaseosos, por ejemplo, acetileno u otro hidrocarburo gaseoso producido por la volatilización de un líquido.

Para reforzar los filamentos carbonizados empleando hidrocarburos gaseosos, se usa la disposición adjunta (fig. 3), que consta de una plataforma de metal *M* sobre la cual se apoya una campana de cristal *B*, cuyos bordes penetran en una arandela de caucho, de sección en *U*, a fin de lograr un cierre hermético. Esta campana comunica mediante un tubo *c* con el depósito *D* del hidrocarburo gaseoso o del líquido cuyos vapores utilizaremos. Atravesando el platillo *M* y convenientemente aislados de él, están los dos conductores *m n* de la corriente, que terminan en el soporte *a* y finalmente, atravesando el propio platillo, hay un tubo *g* que se bifurca luego en dos, uno para comunicar

con el aire *i*, y el otro *h* con la máquina de hacer el vacío. En el circuito *m n*, instalaremos el voltímetro *V*, el amperímetro *A*, un reóstato regulable *R* y el interruptor *I*.

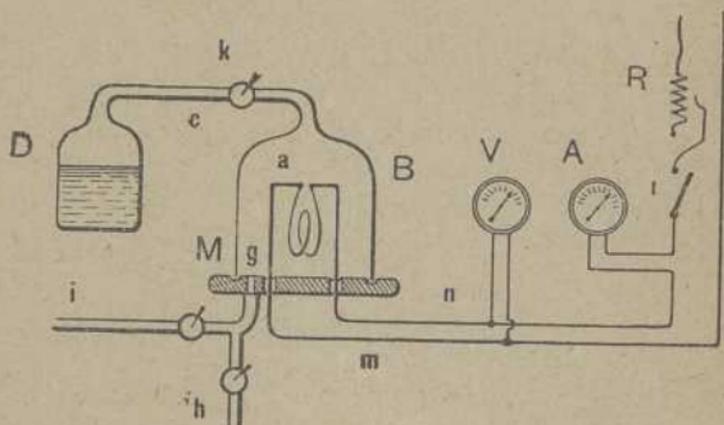


Fig. 3

Levantada la campana habiendo cerrado las llaves *k* y *h*, sujetaremos un filamento en el soporte *a*, volvemos a colocar la campana, y cerrando *i*, abriremos *h*, y haciendo funcionar la máquina extractora, produciremos en *B* un vacío; cuando éste sea suficiente, cerraremos *h* y abriremos *k*, con lo cual el gas o los vapores del hidrocarburo contenido en *D*, llenarán la campana *B*. Logrado esto, cerraremos el circuito eléctrico y regulando el reóstato *R*, lanzaremos a través del filamento una corriente de intensidad creciente, que se corta una vez llegada la máxima de trabajo (unos 300 voltios). Al ponerse incandescente el filamento, el hidrocarburo se disocia, depositándose el carbono y quedando reforzado el filamento.

Si la temperatura a que se ha llegado fuere excesiva, el carbón no sería adherente, sino pulverulento, por lo que de ocurrir esto tendremos que mezclar el gas con otro cuerpo, tal como el *vapor de agua* o el *ácido acético*, que obran como reductores del carbón pulverulento, y no del que se hubiera depositado a baja temperatura.

**Recocido.** — En algunos casos, se procede al recocido de los filamentos a fin de mejorar sus cualidades, y de un modo particular su resistividad que disminuye en un 20 %.

**Montaje del filamento.** — En cuanto se ha formado el filamento tal como hemos dicho, es preciso soldar sus extremos a hilos metálicos, que deben salir fuera de la ampolla. Si el platino fuere barato sería preferible emplear este material, pues su coeficiente de dilatación es parecido al del vidrio; pero siendo tan caro, sólo emplearemos platino en los puntos en que atraviere al cristal, y en los restantes puntos, otra clase de metal.

De ordinario, el filamento de carbón se sujeta a dos trozos de hilo de níquel *a*, y éstos a otros dos de platino *b* (fig. 4), que a su vez lo son a otros de cobre *c*, estando estos dos últimos recubiertos en parte por un tubito de vidrio cerrado superiormente, mientras por el otro extremo, se suelda a la boca de la ampolla. Los hilos de platino se sueldan con los de níquel y cobre mediante el soplete, exigiendo mucho cuidado la soldadura de los de níquel con el filamento.

Para ello, se encorvan los extremos de los hilos de níquel, formando anillo, y en los ojales hechos se introducen los extremos de los filamentos; introdúcese luego el conjunto en un depósito con petróleo u otro hidrocarburo y se hace pasar una corriente; el petróleo se descompone y se deposita el carbón en los ojales cerrándolos, al mismo tiempo que reblandeciéndose los extremos de los hilos de níquel, acaban de hacer sólido el empalme.

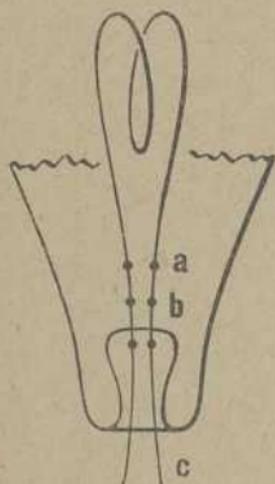


Fig. 4

En algunas fábricas se coloca en la unión una pasta formada de goma arábiga, carbón y óxido de cobre; si calentamos el conjunto al soplete, el cobre reducido se deposita formando una gota, la cual produce la soldadura.

Soldado el filamento, falta sólo calentar el tubo que recubre los hilos de platino y con unas pinzas comprimirlo, para que ellos queden en una masa de vidrio, a fin de asegurar luego la conservación del vacío en la lámpara.

En la actualidad, debido al elevado precio del platino, los industriales han buscado la manera de reemplazarlo por otros materiales; los ensayos han sido casi siempre deficientes, y en perjuicio de la duración de la lámpara, ya que casi siempre el coeficiente de dilatación es distinto del coeficiente del vidrio, y al mismo tiempo la pequeña capa de

óxido, que se forma al soldar, hace que al caer quede entre el hilo y el vidrio un hueco sumamente pequeño, por el cual se va filtrando el aire y acelerando la destrucción de la lámpara.

Los que han dado buenos resultados son el aluminio y la platinita, que es una aleación de hierro, níquel y carbono en la proporción siguiente:

|               |        |
|---------------|--------|
| Hierro .....  | 53'85  |
| Níquel .....  | 46'00  |
| Carbono ..... | 0'15   |
|               | <hr/>  |
|               | 100'00 |

que reúne muy buenas condiciones industriales. Prácticamente, para asegurar el cierre hermético de la ampolla, se tapa la boca inferior del tubito que lleva los hilos mediante una masilla aislante.

#### Fijación del filamento a la ampolla.—

A la ampolla, a la cual se le ha dejado una boca de suficiente anchura, se le introduce el filamento con su soporte, y entonces, con el soplete, se reblandecen los bordes del cuello de la ampolla y los bordes del tubo soporte y con unas pinzas se comprimen ambas partes, que al enfriarse quedan pegadas.



Fig. 5

**Formación del vacío.**— Es una de las operaciones más delicadas, ya que de ella depende la vida o duración de la lámpara. Su fina-

lidad es sustraer el filamento de la acción del oxígeno del aire, que lo destruiría rápidamente.

Para hacer el vacío en las ampollas, es preciso acoplarlas a la máquina o aparato extractor. Este

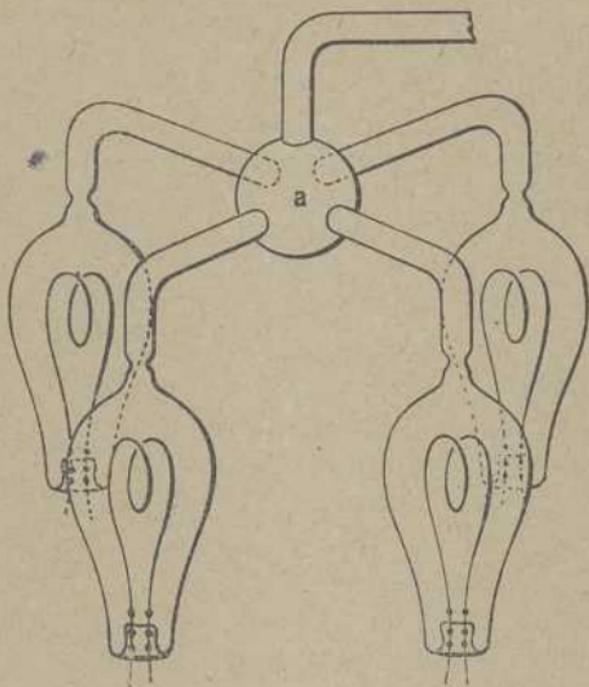


Fig. 6

acoplamiento se hace soldando la punta de la ampolla a un tubo de vidrio (fig. 5), el cual o se dobla en ángulo recto para soldarlo a una esfera *a* (fig. 6) a fin de reunir varias lámparas a un mismo tubo de extracción o bien, se suelda a un tubo recto, que es el general de extracción (fig. 7).

En estas condiciones, la lámpara se acopla a la máquina extractora de aire, haciendo circular por

los filamentos una corriente que los ponga al rojo obscuro, corriente que iremos aumentando conforme vaya avanzando el grado de vacío, de tal modo que cuando éste se encuentra en las condiciones deseadas, el filamento toma el color rojo blanco. Este calentamiento tiene por objeto eliminar los gases que por oclusión contiene el filamento,

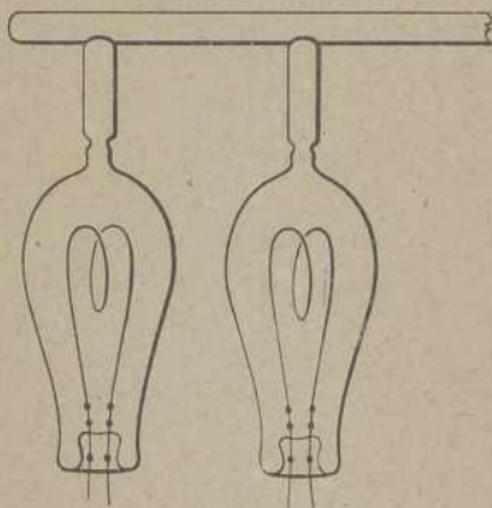


Fig. 7

y que de no ser eliminados, harían desaparecer el vacío de la ampolla, en perjuicio de la duración de ella.

Los aparatos para producir e vacío, pueden reunirse en dos grupos: las trompas y las bombas.

**Trompas.** — Se llaman así los aparatos de extracción de aire fundados en la propiedad que tienen los flúidos en movimiento de arrastrar el aire contenido en un recinto.

En su más simple expresión, las trompas constan de una cavidad o depósito *A* (fig. 8), con tres tubuladuras; la *a*, que penetra hasta cerca de la *b*,

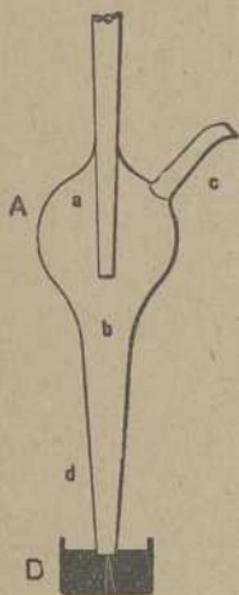


Fig. 8

que comunica con el aire, y la *c*, lateral que sirve para empalmar el aparato con el tubo colector de los grupos de lámparas. A unos dos metros del cuerpo de la trompa, colócase un depósito con mercurio, que al derramarse entrará por *a*, y transmitiendo su movimiento al aire, lo arrastra a lo largo del tubo *d*, cayendo el mercurio a un depósito *D*, del cual mediante una bomba, es elevado al depósito superior para que suba de nuevo.

El mercurio que debe emplearse, ha de ser lo más puro posible, y debe procurarse que esta pureza subsista constantemente,

y como siempre sufre oxidaciones, debe filtrarse a través de una piel de gamuza, y agitándolo luego con ácido sulfúrico diluído, y algunas gotas de ácido nítrico. Desoxidado el mercurio, se lava con agua destilada secándolo y filtrándolo. En algunas fábricas, estas operaciones son reemplazadas por una destilación y condensación de vapores.

Una modificación industrial de las trompas es la denominada Reinman que dispone entre ellas y las lámparas que se han de enrarecer, un depósito *E*

(fig. 9) conteniendo una materia higroscópica, tal como potasa cáustica o anhídrido fosfórico, que retiene las huellas de vapor de agua contenido en el aire que llena las ampollas.

Con estos aparatos se obtienen vacíos muy elevados, pues se logran presiones de 0'025 milímetros de mercurio, equivalente a 0'00004 atmósferas.

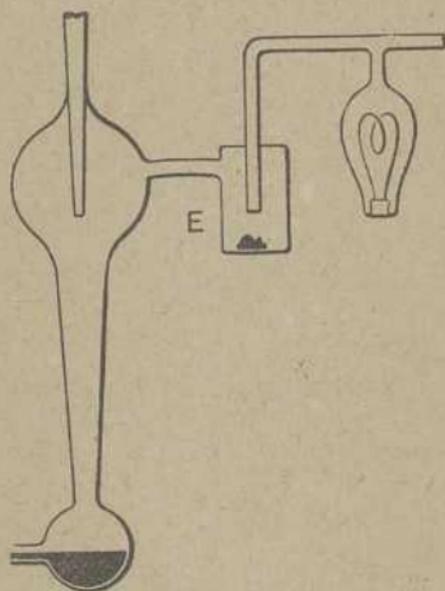


Fig. 9

**Bombas.** — Con este nombre se comprende un conjunto de aparatos fundados en los mismos principios que las bombas ordinarias, aun cuando exteriormente en nada se parecen a ellas, pues el émbolo no existe, sino que está reemplazado por una masa de mercurio, que alternativamente penetra en un recipiente, que constituye el cuerpo de la bomba.

Muchos y variados son los tipos de bombas de mercurio empleados en las fábricas de lámparas. Nosotros elegimos para su descripción las bombas Reden, empleadas en la fábrica Osram, y la Gaede, usada por casi todas las casas constructoras de lámparas.

**Bomba Reden.** — El órgano fundamental de esta bomba está constituido por un depósito *E* de forma circular, terminado en dos tubos doblados en *S*

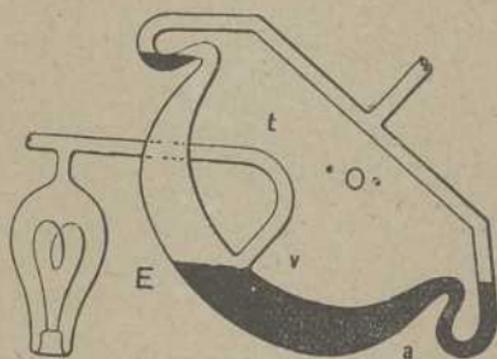


Fig. 10

(fig. 10); sus extremos se reúnen en un solo tubo de expulsión. De la parte media del *E*, sale otro tubo *t*, que enlaza el aparato con las lámparas cuyo aire debemos extraer. Si dentro del depósito *E* colocamos cierta cantidad de mercurio, bastará que demos una inclinación determinada a *E* para que las ampollas de las lámparas comuniquen con el hueco del depósito, mediante el tubo *t* y el orificio *v*; si damos al depósito un cuarto de rotación, alrededor del punto *O*, el mercurio se correrá hacia la

izquierda, cerrará de momento el orificio *v* y luego comprimirá el aire en forma tal que le obligará a pasar por entre el mercurio contenido en *a*, que sirve de cierre; mientras esto ocurre, las ampollas comunican de nuevo con el depósito *E* (fig. 11) (lado derecho) y para desalojarlo, bastará que el



Fig. 11

aparato gire un cuarto de revolución hacia la derecha. Dando, pues, al depósito *E* un movimiento de vaivén se logrará extraer el aire de un modo casi continuo.

Esta bomba que da magníficos resultados, puesto que en tres minutos produce un vacío correspondiente a una centésima de milímetro de mercurio en un depósito de  $500 \text{ cm}^3$ , y en trece minutos se puede obtener una presión de  $0'00001$  milímetro.

Industrialmente, el aparato descrito esquemáticamente, va provisto de indicadores de presión, para saber el grado de enrarecimiento que se tiene en cada instante durante el funcionamiento.

**Bomba Gaede.** — La bomba Gaede construída partiendo de la misma teoría que los contadores de gas, consta de un recipiente de fundición *A* (figura 12) en cuyo interior se aloja una rueda de paletas curvas *S* con tres compartimientos de porcelana barnizada. Cada compartimiento lleva su canal de evacuación *u* y una abertura *v*. Por el centro de una de las tapas del cilindro *A*, entra el tubo *t*,

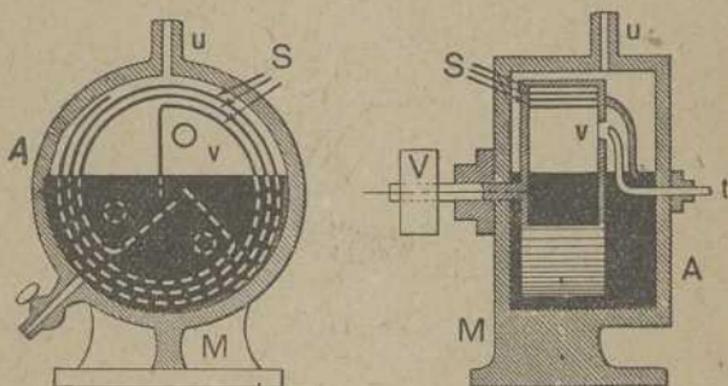


Fig. 12

que comunica con las lámparas que se van a tratar; este tubo termina fuera del mercurio, que llena más de la mitad del depósito *A*. Este mercurio, sea cual fuere la posición de las aletas, dejará abierta una de las aberturas, por lo que el aire de las lámparas llenará una de las cavidades de la rueda *S*. Al girar ésta, el departamento que estaba fuera del mercurio, se sumergerá en éste, y en cambio, otro que lo estaba saldrá fuera, quedando el vacío en su interior, que se llenará de aire cuando su abertura *v* queda al descubierto; mientras esto ocurre,

el que tenía aire, al irse llenando de mercurio, comprimirá a éste, el cual teniendo el conductor de evacuación *u*, saldrá al exterior. Como puede comprenderse, esta bomba, sumamente sencilla, sin posibles desperfectos, es de marcha continua, tal como exigen las necesidades industriales.

**Terminación.** — Obtenido el grado de vacío que se deseaba, se calienta con un soplete el punto de arranque del tubito que se había adicionado a la ampolla, para poder efectuar la operación anterior, y una vez reblandecido el cristal, con unas pinzas se comprime fuertemente y corta para cerrar herméticamente la lámpara y queda la ampolla a punto de prestar servicio.

Para dar la lámpara por terminada, falta sólo adaptarla al casquillo, a fin de poder sujetarla al portalámparas.

La fijación de las lámparas a los casquillos se obtiene rellenando el hueco que queda entre ambos mediante yeso fino o mejor escayola, habiendo soldado previamente, uno de los extremos del filamento al casquillo, y el otro a una chapita de metal que aislada, se coloca en el fondo del casquillo. Si éste fuese de bayoneta, los extremos del filamento van al fondo o base del casquillo, terminando en dos plaquitas de latón, aisladas entre sí y del casquillo propiamente dicho.

**Ensayo de las lámparas.** — Ya terminadas las lámparas, se ensayan antes de darlas al mercado.

El ensayo puede referirse al vacío de la ampolla y a la calidad del hilo.

Para asegurarse del grado de vacío, bastará sujetar la ampolla por dos piezas en forma de cuchara, conectadas al secundario de un carrete de inducción. Al funcionar ésta, si la lámpara permanece oscura y el cristal se vuelve fosforescente, nos indicará que la lámpara tiene el vacío necesario, debiendo desecharse, cuando se ilumina con luz violeta o azulada; en este caso deberá volver al taller para enrarecerla de nuevo.

Para comprobar la calidad del filamento, se reúnen las lámparas en serie para que al circular la corriente, sus filamentos sólo se pongan rojos. Si este color lo toman igual en todos sus puntos, los filamentos son buenos, y se desecharán las lámparas en que se observen unos puntos más brillantes que otros.

En las grandes fábricas se ensayan durante dos o tres minutos a tensiones dobles de las de trabajo, a fin de entregar al comercio lámparas que no se estropeen por una variación instantánea.

La última operación se refiere a determinar su potencia luminosa, lo que se consigue mediante fotómetros, como veremos en otro capítulo.

## CAPÍTULO II

### CARACTERÍSTICAS DE LAS LÁMPARAS DE FILAMENTO DE CARBÓN

**Calor desprendido.** — Por la misma teoría de las lámparas de incandescencia (cap. I), se deduce que al mismo tiempo que son focos luminosos, constituyen verdaderos focos caloríficos, y tanto es así, que según ensayos efectuados en laboratorios, el 94 % de la energía eléctrica es transformada en calorífica; debido a ello, se han tenido que tomar varias precauciones, siempre que se emplean las lámparas de filamento de carbón para el alumbrado de locales donde haya substancias explosivas o fácilmente inflamables. Las precauciones que se han de tomar en estos casos, son: evitar el contacto directo del globo o ampolla con la substancia peligrosa, e instalarlas en los puntos donde sea posible el cambio del aire puesto en contacto de ellas.

Por otra parte, el calor producido que hasta ahora hemos considerado como perjudicial y que merma el rendimiento luminoso, es sumamente útil, cuando las lámparas se destinan a aplicaciones caloríficas.

**Intensidad luminosa.** — La intensidad luminosa es la cantidad de luz que emite un foco, por lo

tanto, será preciso medirla, siguiendo una dirección determinada.

Dos son las direcciones en que se acostumbran a medir las potencias luminosas de las lámparas; según un plano horizontal, que pasa por el centro del bucle del filamento, y según un plano vertical.

La intensidad luminosa, no sólo varía según la dirección del rayo luminoso que se estudia, sino según la forma del filamento, del grado de pulimento de la ampolla o globo y de la posición que se dé a la lámpara.

Referente a la influencia de la dirección de los rayos luminosos, por ensayos fotométricos se ha determinado, que aun para una misma sección normal al eje del filamento, las intensidades no son iguales en todas direcciones, variación aún más sensible, cuando se estudian las que tienen lugar en el caso en que el plano pasa por el eje del filamento.

Rowland, resume sus interesantes estudios fotométricos en el siguiente cuadro:

| INTENSIDADES LUMINOSAS        | FILAMENTO |                 |                 |                 |
|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                               | En U      | En bucle simple | Filamento doble | De doble espira |
| Media horizontal . . . . .    | 16'—      | 16'7            | 16'1            | 15'6            |
| Media esférica . . . . .      | 12'7      | 13'5            | 13'2            | 13'8            |
| Media a 45° del eje vertical. | 10'5      | 12'—            | 12'—            | 14'—            |
| Media hemisférica inferior.   | 14'3      | 14'5            | 14'—            | 14'1            |
| Media a 20° de la punta..     | 8'7       | 10'3            | 7'9             | 10'9            |

En lo que hace referencia al pulimento de la lámpara o ampolla, es evidente que la intensidad decrece con el grado de esmerilado, disminuyendo su valor en un 10 %.

Esta pérdida es más aparente que real, pues lo que hacen estas lámparas es difundir la luz en todas direcciones, suprimiendo las de máximo brillo, para repartirla más uniformemente en todos sentidos. De modo que una lámpara esmerilada recién construída, no da prácticamente pérdida alguna en la intensidad luminosa; pero cuando está usándose la superficie rugosa, es depósito de polvo casi imposible de eliminar, el cual va formando una envolvente opaca que va reduciendo la luz útil de la lámpara a pesar de que la emitida por el filamento subsiste igual.

Otro punto, digno de tener en cuenta, es la posición de la lámpara: éstas, generalmente, se colocan suspendidas, o sea, con el casquillo hacia arriba; como el máximo de intensidad corresponde al plano normal al eje del filamento y pasa por el centro del bucle, es natural, que la que recibamos sobre una mesa, por ejemplo, será menor, puesto que solamente utilizaremos el flujo luminoso, que emerja desde la punta de la ampolla, pudiéndose tomar como dato práctico, el que una lámpara de 16 bujías, sólo da en aquella dirección de 8 a 9.

La mejor manera de colocar una lámpara para utilizar el máximo de intensidad, es la *horizontal*. Si a una lámpara en estas condiciones se le agrega un simple reflector, se obtiene el máximo posible de utilización.

**Duración de las lámparas.** — Se llama *vida* de una lámpara el tiempo que ella conserva una intensidad media igual al 80 % de su valor primitivo. Esta disminución de intensidad media, es debida a dos causas: 1.º, al ennegrecimiento de la ampolla como consecuencia de la desagregación del filamento, y 2.º, a la disminución de la capacidad radiante del mismo debido a la antes dicha desagregación.

La ampolla de una lámpara de filamento de carbón, al cabo de cierto tiempo de prestar servicio, se recubre de una substancia negruzca, que constituye una variedad especial del carbono. Con el tiempo, esta capa va aumentando de espesor, constituyendo por sí sola un cuerpo semiopaco que disminuye sensiblemente la intensidad luminosa media. Como este carbono se obtiene a expensas del que forma el filamento, tenemos que, independientemente del desgaste del mismo, debido a la oxidación por las huellas de oxígeno contenido en el interior de la ampolla, hay el desgaste debido a la disgregación producida por el paso de la corriente eléctrica que no sólo disminuye su diámetro, sino que modifica su estructura.

Otra causa que acorta la vida de las lámparas está en las variaciones de tensión de la corriente alimentadora, cuando ésta adquiere valores superiores al de régimen. Un ejemplo práctico lo da una lámpara de 32 bujías, construída para trabajar con una corriente de 100 voltios. Si los voltajes son inferiores al de régimen, la vida normal, que se considera de 1000 horas, queda aumentada así:

|     |            |         |    |      |          |    |             |       |
|-----|------------|---------|----|------|----------|----|-------------|-------|
| Con | 93         | voltios | la | vida | absoluta | es | 4236        | horas |
| »   | 95         | »       | »  | »    | »        | »  | 3595        | »     |
| »   | 98         | »       | »  | »    | »        | »  | 1645        | »     |
| »   | <b>100</b> | »       | »  | »    | »        | »  | <b>1000</b> | »     |
| »   | 102        | »       | »  | »    | »        | »  | 601         | »     |
| »   | 104        | »       | »  | »    | »        | »  | 375         | »     |
| »   | 105        | »       | »  | »    | »        | »  | 248         | »     |
| »   | 110        | »       | »  | »    | »        | »  | 102         | »     |

y a mayor voltaje se produce la destrucción del filamento.

Este acortamiento de la duración normal de la lámpara es debido al trabajo forzado a que se someten: por lo que la intensidad que circula a través de ellas será mayor que la normal, exceso que trae mayor intensidad lumínica; pero también la reducción del tiempo de vida de la lámpara.

Dado lo baratas que son las lámparas de filamento de carbón, es costumbre darles un voltaje algo superior al que normalmente deberían trabajar, a fin de obtener intensidades luminosas mayores con menor consumo de fluido.

**Consumo de energía.** — Recibe el nombre de consumo específico, la potencia en vatios-hora necesarios para producir una intensidad luminosa equivalente a una bujía.

Es un dato al parecer de los más sencillos; pero, en realidad, muy difícil de determinar, puesto que, como recordarán nuestros lectores, las intensidades varían no sólo según la sección o plano en que se midan, sino según la dirección que se considere, ya

que difícilmente se encontrarán dos direcciones con igual intensidad de luz.

A pesar de ello, su determinación experimental ha sido objeto de numerosos trabajos que, si no han dado valores absolutos, han permitido hacer comparaciones, de las cuales se ha deducido el valor práctico de 3'45 vatios por bujía, medida según un plano perpendicular al eje del filamento y pasando aproximadamente por el punto medio de la ampolla.

Estos datos experimentales son los del siguiente cuadro:

| CONSUMO ESPECÍFICO EN VATIOS BUJÍA | FILAMENTO |              |            |              |
|------------------------------------|-----------|--------------|------------|--------------|
|                                    | En U      | Bucle simple | Doble lazo | Doble espira |
| Media horizontal .....             | 3'54      | 3'45         | 3'50       | 3'56         |
| Media esférica .....               | 4'40      | 4'15         | 4'23       | 4'07         |
| Media a 45° del eje vertical.      | 5'33      | 4'66         | 4'66       | 4'—          |
| Media hemisférica inferior.        | 3'92      | 3'86         | 4'—        | 3'86         |
| Media a 30° de la punta..          | 6'44      | 5'44         | 7'—        | 5'14         |

A más de la forma del filamento, tiene gran influencia en el valor del rendimiento el espesor del hilo que lo forma, ya que la intensidad luminosa de una lámpara depende de la temperatura media del filamento; si éste es muy fino, la temperatura media es sensiblemente igual a la de su superficie; pero si su espesor es relativamente grande, la masa del filamento almacena cierta cantidad de calor, de modo que la temperatura media no sólo es su-

perior a la superficial, sino que lo es en cantidad suficiente para impedir que una variación instantánea de corriente sea visible, observando la luz emitida.

Al filamento de las lámparas, a igualdad de voltaje de trabajo, se le da tanta mayor longitud y sección cuanto mayor potencia luminosa se desee obtener; por eso resulta que el rendimiento de las lámparas de pocas bujías es mucho menor que en las de mayor potencia luminosa. Para mejorar el rendimiento de las lámparas de pocas bujías, se podría reducir la tensión de la línea, ya que la sección del filamento de las lámparas es tanto mayor cuanto menor es el voltaje; pero esta disposición verdaderamente económica, en cuanto afecta al consumo, vendría contrarrestada por la necesidad de emplear transformadores reductores de tensión, que complican y encarecen las instalaciones.

De lo dicho se deduce, pues, que el empleo de bajos voltajes favorece el rendimiento industrial. Lo que la teoría nos enseña, la práctica lo corrobora así; las lámparas de 220 voltios, tienen un rendimiento inferior en un 20 % al de las de 110 voltios; esto cuando las lámparas son nuevas, pues al cabo de 250 horas de servicio, la pérdida del rendimiento es mucho mayor, puesto que llega al 34 %.

Un ensayo de los más concluyentes fué realizado en los laboratorios de una fábrica de lámparas alemana, de las más importantes, tomando una lámpara construída para una tensión de régimen normal de 110 voltios, y mediante un transformador regulable, fué alimentada a diferentes tensiones;

con un fotómetro se midieron sus intensidades luminosas, y con un vatímetro los vatios consumidos. Los resultados que se obtuvieron fueron:

| <u>Tensión en voltios</u> | <u>Vatios por bujía</u> |
|---------------------------|-------------------------|
| 66 .....                  | 38'00                   |
| 79 .....                  | 16'00                   |
| 98 .....                  | 5'92                    |
| 107'5 .....               | 4'03                    |
| 120 .....                 | 2'65                    |
| 132'7 .....               | 1'85                    |
| 144'7 .....               | 1'48                    |

deduciéndose que el consumo específico iba disminuyéndose al ir forzando el voltaje de trabajo, y que, por lo tanto, desde el punto de vista económico, dada la baratura de las lámparas de filamento de carbón, es preferible emplear lámparas de menor tensión que la de trabajo, aunque con esto se acorte la vida de las lámparas.

El rendimiento específico de las lámparas varía con el tiempo de utilización de ellas, aunque prácticamente, el consumo de la lámpara es casi el mismo, sean cuales fueren las horas que la lámpara hubiese prestado servicio; en efecto, si la intensidad luminosa no hubiera decrecido, tendríamos que el rendimiento permanecería invariable; pero como, conforme hemos dicho antes, la luz emitida disminuye con el servicio, y como los vatios consumidos no han variado, los que correspondan por bujía serán más cuanto mayor número de horas de servicio tiene la lámpara.

Las cifras generalmente admitidas en la práctica, como resultado de numerosos experimentos, son:

| <u>Duración<br/>de la<br/>incandescencia</u> | <u>Consumo<br/>específico en<br/>vatios por bujía</u> |
|--|---|
| 0 .....                                      | 3'59  |
| 100 .....                                    | 3'51  |
| 200 .....                                    | 3'46  |
| 400 .....                                    | 3'58  |
| 600 .....                                    | 3'64  |
| 800 .....                                    | 3'66  |
| 1000 .....                                   | 3'69  |
| 1420 .....                                   | 4'39  |
| 1826 .....                                   | 5'44  |

que nos dicen, que el mínimo consumo y, por lo tanto, el máximo rendimiento corresponden al momento en que la lámpara tiene 200 horas de uso.

## CAPÍTULO III

### LÁMPARAS DE INCANDESCENCIA FILAMENTO METÁLICO

El gran consumo específico de las lámparas de filamento de carbón, hizo que las casas constructoras ensayasen nuevas disposiciones para las lámparas de incandescencia, tratando de substituir el carbón, que forma el filamento, por otra materia. Estos ensayos al parecer nuevos, no lo eran, en realidad, puesto que la primera lámpara de incandescencia, de efímera vida, que se construyó, fué en 1801, al poco tiempo de que Volta formara la primera pila que el hombre conoció. A Thenard siguieron en 1840 Grove y Moleys, en 1847 Draper, continuando una pléyade de sabios, que construyeron todos ellos unas lámparas fundadas en la incandescencia de un hilo metálico generalmente de platino. Con ello podrán ver muchos lectores, que las lámparas de filamento metálico, presentadas como último adelanto de la ciencia, fueron ya construídas en tiempos en que el conocimiento de la electricidad estaba aún en mantillas; pudiendo asegurarse, que si sus autores no llegaron a perfeccionarlas industrialmente, fué debido a la falta absoluta de aplicación que podían dar a su aparato, dadas las di-

ficultades y el enorme coste a que resultaba la corriente eléctrica.

Una lámpara de filamento metálico es análoga a las de carbón, reemplazando el filamento de carbón por otro metálico de longitud y diámetro convenientes.

En su construcción, han de seguirse los mismos trámites que en las lámparas ordinarias, diferenciándose sólo en la manera de fabricar el filamento, y la forma de montarlo en la lámpara.

**Filamento.** — Las condiciones que deben poseer los filamentos metálicos para asegurar a las lámparas un buen rendimiento luminoso, unido a una larga vida, son:

Que los materiales que lo forman tengan *gran radiación selectiva*, es decir, que a igual temperatura, tengan mayor irradiación luminosa.

Esta radiación selectiva depende del *punto de fusión*, por lo que un metal será tanto mejor para formar filamento de una lámpara, cuanto *mayor sea su punto de fusión*; esta condición elimina de la lista de cuerpos que pueden ser empleados, aquellos que se funden a temperaturas inferiores a 2,000 grados; por lo cual, los únicos que podrán emplearse serán:

|                 | Punto de fusión |
|-----------------|-----------------|
| Osmio .....     | 2500 grados C.  |
| Tántalo.....    | 2275 »          |
| Tungsteno ..... | 3100 »          |
| Molibdeno ..... | 2000 »          |
| Zirconio.....   | 2300 »          |

El platino, que se funde a 1800°, ha sido desechado enteramente para formar los filamentos de las lámparas de incandescencia.

Otra condición que tienen que poseer los metales para poder servir como filamento, es la de poseer cierta *resistividad eléctrica*, a fin de no tener que emplear grandes longitudes de filamento, que harían difícil su colocación, pues han de ocupar un espacio reducido. Hay que tener en cuenta que la resistividad aumenta al calentarse los filamentos.

Por último, los metales han de ser *muy tenaces y dúctiles*; lo primero para evitar la rotura de los filamentos, impidiendo la inutilización de la lámpara por causas ajenas a su uso; y lo segundo, a fin de poder obtener hilos de diámetro suficientemente pequeño, que permitan tomar cortas longitudes de hilo para construir un filamento. Estos diámetros no podrán hacerse tan pequeños como sería de desear, puesto que están limitados por el orificio mínimo, que puede hacerse en las hileras de diamante (0,004 milímetros).

**Preparación del filamento.** — Diferentes procedimientos se emplean para obtener los hilos metálicos, destinados a formar los filamentos de las lámparas de incandescencia y, a pesar de que los fabricantes de lámparas *no* se construyen los hilos que emplean, estudiaremos de un modo genérico su fabricación, dejando para más adelante el estudio especial de cada uno de los metales empleados.

Los principales procedimientos son:

1.º *Mediante soluciones coloidales.*—Se llama coloidal, una substancia y de un modo especial, un metal, siempre que al ser disuelta en el agua, queda en suspensión en el líquido y en estado de gran subdivisión.

Para que un metal dé solución coloidal, basta hacer saltar un arco voltaico dentro de un recipiente lleno de agua, empleando electrodos del metal en cuestión; el metal se separa del líquido solamente por evaporación de éste. Evaporada el agua se añade el metal, ya en estado coloidal, glicerina, glicol, etc., y se forma una masa compacta, a la cual pueden incorporarse otros metales reducidos a polvo. Cuando esta pasta tiene suficiente solidez, se prensa y se hace pasar por la hilera de diamante: obtenido el filamento se deja secar, y se calienta a 70º, a fin de hacerlo buen conductor.

Para darle la homogeneidad necesaria y la estructura cristalina, se calienta haciendo circular por él una corriente eléctrica, en un recinto lleno de hidrógeno.

2.º *Mediante óxidos metálicos reducidos a alta temperatura.*—Es el procedimiento empleado por la «General Electric C.º»; para su formación se parte de un óxido del metal amasado con un aglomerante orgánico. Esta pasta se pasa por la hilera, y los hilos obtenidos se montan en un circuito eléctrico, dentro de un recipiente lleno de un gas inerte. Por la acción del carbono del compuesto orgánico, el óxido se reduce y se forma anhídrido carbónico, quedando en el filamento solo el metal.

3.º *Mediante el refuerzo metálico de los filamentos de carbón y luego destrucción del carbono.* — Es un método verdaderamente original que consiste en tomar los filamentos de carbón, preparados como ya hemos dicho antes, y reforzarlos, colocándolos en una atmósfera de una sal volátil (cloruro, oxiclорuro) del metal de que queramos hacer el filamento.

Recordaremos que con el refuerzo, se descompone el hidrocarburo que llenaba el recinto, y el carbón se depositaba sobre el filamento, de preferencia en los puntos de menor sección. Pues bien, en este caso, lo que se descompone es la sal metálica volátil, y lo que se deposita sobre el filamento es el metal puro.

Una vez obtenido el depósito de metal deseado, se colocan los filamentos dentro de un recipiente lleno de oxígeno, o de un gas oxidante, haciendo circular la corriente eléctrica por el filamento: al elevarse su temperatura, el carbono, se oxida y desaparece, quedando en el filamento solamente el metal.

4.º procedimiento. *Mediante substitución del carbón por el metal.* — Este método es una simplificación del anterior, y consiste en llevar al rojo un filamento de carbón en un recinto lleno de una mezcla de vapor de agua y del gas que contiene el metal: de este modo la operación de depositarse el metal se verifica simultáneamente con la de hacer desaparecer el carbono.

Con este método pueden obtenerse hilos de espesores superiores a los necesarios, a fin de redu-

cirlos luego en la hilera, con lo cual el hilo gana en homogeneidad, y se regulariza su densidad.

Los métodos generales que acabamos de enunciar sucintamente son los únicos aplicables en la actualidad, para obtener los finísimos hilos que constituyen los filamentos metálicos, sea cual fuere el metal que se emplee. Como este punto es sin duda uno de los más interesantes para nuestros lectores, vamos a detallar los procedimientos empleados por la inmensa mayoría de las casas constructoras de lámparas.

**Filamentos de tungsteno.** — Este metal, que reúne en alto grado las condiciones necesarias para dar buenos filamentos para las lámparas de incandescencia, ha sido, sin embargo, uno de los que han opuesto más dificultades para la formación de los hilos; vencidas éstas, constituye hoy el elemento con que las casas «General Electric C.<sup>o</sup>» de New-York, «Westinghouse» y «Siemens Halske», construyen sus lámparas.

El método empleado por la «General Electric C.<sup>o</sup>» de New-York, está fundado en la amalgamación del tungsteno, con una amalgama hecha previamente de

|               |      |
|---------------|------|
| Cadmio.....   | 44 % |
| Mercurio..... | 56 % |

o de

|               |      |
|---------------|------|
| Cadmio.....   | 42 % |
| Mercurio..... | 53 % |
| Bismuto ..... | 5 %  |

o bien, con la aleación

|               |      |
|---------------|------|
| Cadmio.....   | 35 % |
| Bismuto ..... | 65 % |

y, en general, con una aleación que se evapore a una temperatura inferior a la de oxidación del tungsteno.

Se forma una pasta con

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Amalgama o aleación ..... | 70 % |
| Tungsteno.....            | 30 % |

y cuando ésta tiene suficiente consistencia, se pasa por la hilera de diamante, que da hilos de 1/200 a 1/400 milímetros. Estos hilos, sólidos y perfectamente manejables, se colocan dentro de un tubo, que al ser calentado a una temperatura relativamente baja, produce la evaporación, o mejor, volatilización del mercurio y los restantes metales extraños, quedando sólo el tungsteno y una pequeña cantidad de cadmio, que por hacerlos quebradizos, es preciso eliminar.

Para ello, se colocan dentro de una campana en la que se ha hecho el vacío, o se ha introducido un gas inerte, los residuos de cadmio se volatilizan en cuanto se calienta el filamento por el paso de una corriente eléctrica.

Los hilos quedan como recocidos y aun cuando resultan poco dúctiles, poseen cierta elasticidad, que los hace aptos para las lámparas de incandescencia.

La casa Westinghouse utiliza para la fabrica-

ción de sus filamentos, el trióxido de tungsteno, reducido por el cinc. Para operar, mezclan:

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| Trióxido de tungsteno ..... | 400 gr. |
| Cinc en polvo.....          | 800 »   |

mezcla, que se coloca en un crisol de porcelana cerrado, y se calienta al principio a 250° y luego a 800° durante una hora. Retirado del fuego, se deja enfriar y la masa que resulta se pulveriza y después de colocada en un recipiente de porcelana, se le añade una mezcla de:

|  |         |
|--|---------|
| Acido clorhídrico (1'12 densidad)..... | 500 cm. |
| Agua pura.....                         | 500 »   |

y gotas de ácido nítrico.

El producto total obtenido se calienta al baño de maría después de haberle añadido:

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| Acido clorhídrico ..... | 500 cm. |
| Agua.....               | 500 »   |

que disuelven todo el óxido de cinc.

Fíltrase el resultado, y la pasta sólida se coloca en un mortero a fin de amasar el tungsteno obtenido; cuando esta masa tiene suficiente cuerpo, se pasa por la hilera.

El hilo obtenido se calienta a 800° en una mufla, y luego se hace circular por él una corriente eléctrica, después de haberlo colocado en un recinto que contiene nitrógeno e hidrógeno, se le pone incandescente, elevándose su temperatura al rojo blanco, a fin de reducir los vestigios de óxido de tungsteno que pudiera contener el filamento.

Finalmente, la casa Siemens Halske utiliza el tungsteno reducido a polvo, llenando con él un tubo de cobre o aluminio de 50 milímetros de longitud, 4 de diámetro exterior y 0'2 de espesor, el cual se coloca dentro de otro tubo de acero de 4 milímetros de espesor.

Relleno el tubo se calienta ligeramente a fin de eliminar los gases que tiene, y luego se pasa por la hilera a fin de darle el diámetro necesario.

Para eliminar la delgada capa de cobre que recubre el filamento, se sumerge en baños que contienen agua acidulada con ácido sulfúrico y clorhídrico.

Si se quiere obtener el filamento más puro, bastará calentarlo en una atmósfera de hidrógeno o de un cuerpo reductor.

**Filamento de osmio.** — Es otro de los metales que hemos visto que reunía las condiciones apetecidas para constituir un buen filamento, y, sin embargo, las dificultades que ha opuesto a su reducción a alambres o hilos de muy pequeño diámetro, fueron causa de que hasta hace pocos años no se utilizase en la industria de lámparas.

Muchos son los procedimientos que se han ensayado desde que Auer propuso el empleo de este metal; todos ellos han caído en desuso, debido a que el filamento no reunía las condiciones apetecidas.

En la actualidad se emplea con buen éxito el fundado en la *descomposición de pastas organometálicas*.

El punto de partida de esta fabricación es el *osmio* reducido a polvo finísimo, que se amasa con una substancia orgánica, por ejemplo, goma arábiga, hasta formar una pasta espesa, y suficientemente elástica para poder ser pasada por la hilera de diamante; el hilo que así se obtiene se arrolla formando bucles, para desecarlo mejor y carbonizarlo al vacío, volatilizando con ello las materias orgánicas. El filamento obtenido es poroso y contiene carbón y osmio; el primero se destruye poniéndolo incandescente en una atmósfera oxidante.

Estos filamentos presentan momentáneamente dos defectos, a saber: son excesivamente porosos y no tienen la superficie lisa; a pesar de ello son muy empleados, porque a las pocas horas de funcionar la lámpara, desaparecen por completo aquellos defectos, y entonces reúne las mejores condiciones.

**Filamentos de aleaciones metálicas.** — Al enumerar al principio de este capítulo los metales de que podríamos echar mano para la confección de filamentos, hemos citado el tántalo, el molibdeno y el zirconio.

Con ellos se han hecho ensayos y construído lámparas; pero su uso no ha sido sancionado por la industria.

Lo que ha dado buenos resultados industriales, han sido las aleaciones; entre las más importantes citaremos:

**Osmio-tungsteno.** — Empleada por la casa Osram, universalmente conocida, este filamento se caracteriza por la luz intensa y brillante, y por su

larga duración. Su fabricación constituye un secreto profesional, desconocido para el público, aun cuando debe amoldarse a uno de los cuatro procedimientos, que en síntesis hemos expuesto en este capítulo.

**Tungsteno-tántalo.** — Empleada esta aleación por la casa Siemens-Halske; este filamento se obtiene trefilando primero al tántalo, y haciendo pasar el hilo obtenido por una pasta formada de un compuesto de tungsteno, con un aglutinante orgánico, y se recubre de la sal de tungsteno, generalmente el trióxido. El hilo así obtenido se reduce luego en una atmósfera de hidrógeno, quedando el hilo formado de un núcleo de tántalo con una película exterior de tungsteno.

Tenemos, finalmente, la aleación *tungsteno telurio*, utilizada por la fábrica de lámparas Metalita, cuyo proceso de fabricación permanece secreto. Las lámparas construídas con este filamento, se caracterizan por la gran resistencia mecánica, que las hace verdaderamente irrompibles.

Estudiada, aunque a grandes rasgos, la fabricación de los principales filamentos conocidos, vamos a dar una idea lo más acabada posible, del proceso de fabricación de estas lámparas.

La fabricación en cuestión, no discrepa casi en nada de las de filamento de carbón, puesto que los órganos o partes de estas lámparas son idénticas a los ya descritos. Como ellas, constan de ampolla, filamento, conexiones del mismo y casquillo; como en ellas en la ampolla o globo hay que hacer el vacío.

Los globos o *ampollas* empleados son análogos, aunque la forma francamente de pera queda algo modificada, pues afecta casi la cilíndrica; los casquillos son análogos a los citados de rosca o de bayoneta; el vacío se opera con los mismos aparatos extractores; lo distinto es la manera de sujetar el filamento, pues siendo los metales menos resistentes

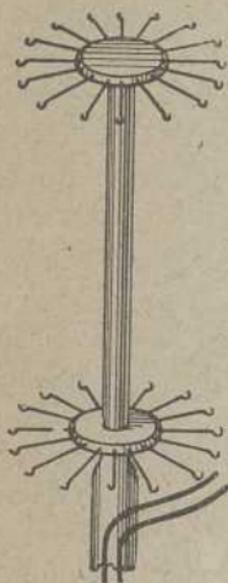


Fig. 13

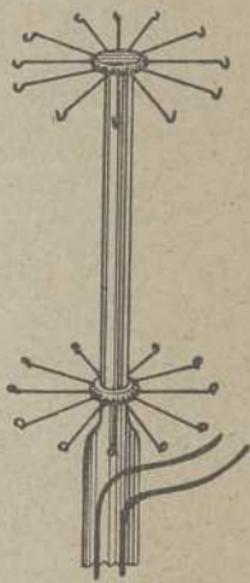


Fig. 14

tes que el carbón, es preciso que el filamento tenga bastante longitud, y como ha de estar colocado en un espacio relativamente pequeño, ha sido necesario buscar disposiciones para sostenerlo y para enrollarlo.

En general, los filamentos metálicos se apoyan en un soporte formado por un eje central de vidrio (figura 13 y 14), en su extremo superior y junto a

la base presenta dos abultamientos o coronas en las cuales se insertan horizontalmente y en forma radial varios alambres de níquel con sus extremos libres terminados en ganchitos (los superiores) y en ojetes los inferiores. Esta varilla central es luego

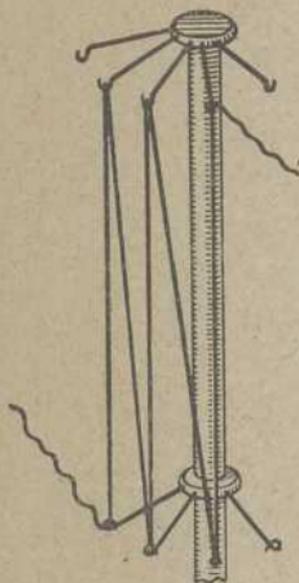


Fig. 15

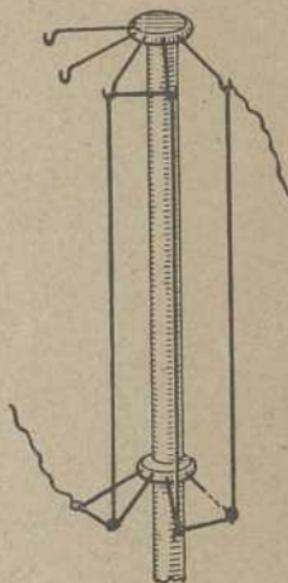


Fig. 16

soldada por su base a un tubito de vidrio, que reblandecido es aplanado con unas pinzas y aloja los dos alambres que sirven de enlace al filamento con el casquillo de la lámpara.

El hilo que forma el filamento se arrolla en zizás (fig. 15) en trazos paralelos (fig. 16), o formando un polígono, sino que en este caso sólo precisa una zona de alambres soportes (fig. 17).

**Montaje de la lámpara.** — Montado el filamento sobre su soporte se introduce en la ampolla; esta operación requiere mucha habilidad, ya que el cuello de la misma tiene un diámetro apenas supe-

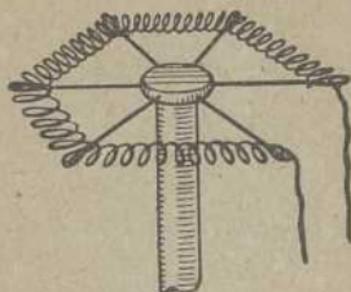


Fig. 17

rior al del cilindro que determina el filamento y como éste es sumamente delicado, es fácil romperlo al menor descuido.

Las operaciones restantes hasta dar por terminada la lámpara, son idénticas a las de las lámparas de filamento de carbón.

**Lámparas de filamento de tungsteno con atmósfera de gas.** — Hemos dicho (pág. 41) que, para asegurar el buen rendimiento luminoso, es menester que los filamentos tengan *gran radiación selectiva*; propiedad que depende del punto de fusión del filamento o de la temperatura que pueden alcanzar sin llegar a fundirse, ya que la radiación selectiva de un cuerpo incandescente aumenta notablemente con la temperatura del mismo,

Desde este punto de vista, el tungsteno ha de ser el metal preferido para la confección de filamentos, toda vez que su temperatura, de fusión, 3100 grados, es la más elevada; con él, se logró fabricar la lámpara llamada de *un vatio*, por ser ese el consumo que corresponde a cada bujía de luz que radia de ella.

Con la antigua lámpara de ampolla al vacío, no era posible sacarle al filamento de tungsteno todo el rendimiento luminoso que podía dar, porque funcionando a elevada temperatura se produce la volatilización lenta del hilo, y como consecuencia de ello, el ennegrecimiento de la ampolla por la capa de metal que se deposita sobre el vidrio, capa que absorbe la luz en proporción geométrica de su espesor, y el adelgazamiento del hilo hasta llegar a romperse; de modo que forzando la temperatura del filamento, en las lámparas al vacío, se gana rendimiento, pero se acorta la vida de la lámpara, y el procedimiento resulta poco económico.

Para solucionar esta dificultad se ha llenado la ampolla de un gas inerte, a la presión de un tercio de atmósfera, que al calentarse produce una presión sobre el filamento que impide la volatilización de éste, sin llegar por eso a hacer explotar la ampolla. Los gases que se emplean son el nitrógeno y el argo, constituyendo las llamadas *lámpara Nitra* y *lámpara Arga*, respectivamente.

Con esta modificación en la lámpara de filamento de tungsteno se ha pasado del consumo de un vatio al de medio vatio por bujía; por eso se conocen estas lámparas con el nombre de *lámparas de medio vatio*.

**Disposición del filamento y forma de la ampolla.**

— El filamento de estas lámparas se monta en polígono (fig. 17) formando hélice apretada. Este montaje tiene la ventaja de reducir la superficie de enfriamiento del filamento, ya que la parte interior de la hélice se puede considerar libre de la acción refrigerante del gas, con lo cual se reduce la pérdida de calor del filamento.

La ampolla de estas lámparas es de forma esférica que termina en un largo cuello cilíndrico en cuyo extremo va el casquillo que sirve para introducirla al portalámparas. El cuello de la ampolla sirve de cámara de enfriamiento para el gas, y en la entrada del mismo se instala un disco de mica que hace de pantalla térmica, que absorbe el calor, sin dificultar la ascensión del gas.

Las pocas partículas del filamento que se desprenden en este tipo de lámpara, son arrastradas por los gases calientes a la cámara de enfriamiento y se depositan sobre el cuello de la ampolla, sin perjudicar la transparencia de su parte esférica.

## CAPÍTULO IV

### LÁMPARAS DE FILAMENTOS MINERALES

La luz emitida por las lámparas de incandescencia, era producida por la circulación de la corriente eléctrica a través de un cuerpo que ofreciese mucha resistencia para que, transformándose en calor, se produjese elevadísima temperatura que diese al cuerpo alto grado de incandescencia.

Partiendo de esta teoría, se han creado, como hemos visto, las lámparas de filamento de carbón, las de filamento metálico, y además un tercer grupo, que si hoy están algo en desuso, no dejaron hace pocos años de ser utilísimas en la industria para la iluminación de vías públicas; este grupo se caracteriza, por tener el filamento formado de óxidos metálicos, siendo el tipo característico, por no decir único, la renombrada Lámpara Nernst.

**Lámpara Nernst.** — La teoría de esta lámpara es sumamente sencilla. Si calentamos un cuerpo formado por óxidos infusibles a las más altas temperaturas, llegará a ponerse incandescente, irradiando luz (tal es la teoría del mechero de gas Auer), a partir de este momento será necesario ir añadiendo al cuerpo incandescente, cierta cantidad

de calor, para compensar en cada instante las pérdidas que se producen. Teniendo este cuidado la lámpara alumbrará durante el tiempo que tengamos por conveniente.

\* Una lámpara Nernst elemental la constituiría un reflector mal conductor del calor *A* (fig. 18), en cuyo foco se coloca una barrita *B* formada de óxidos infusibles. Recubriendo interiormente el reflector, hay

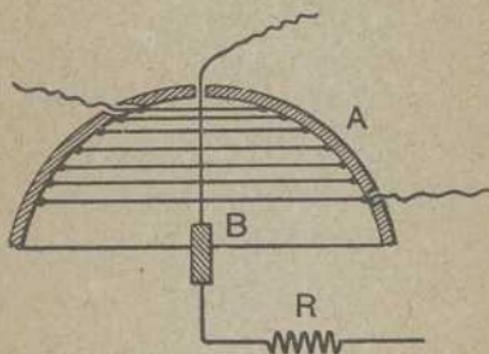


Fig. 18

una resistencia *R* de platino, por la cual circula una corriente intensa que pone incandescente el hilo, y este calor concentrado por la pantalla *A* en el foco *B*, llega a ponerlo incandescente. Obtenido esto, ya no precisa el consumo de la energía que circula por *R*, sino que para que la incandescencia subsista basta que se haga circular una corriente pequeña por el circuito, a fin de compensar las pérdidas de calor que experimentaría el cilindro *B*.

Estos primeros tanteos fueron aprovechados por Nernst, el cual compuso cilindros formados de materias sumamente refractarias y de gran poder emisor, obteniendo satisfactorios resultados con las mezclas siguientes:

|                         |       |   |
|-------------------------|-------|---|
| Oxido de circonio ..... | 80    | % |
| » de itrio .....        | 10    | % |
| » de erbio.....         | 10    | % |
|                         | <hr/> |   |
|                         | 100   |   |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Oxido de torio ..... | 70    |
| » de itrio .....     | 20    |
| » de circonio .....  | 10    |
|                      | <hr/> |
|                      | 100   |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Oxido de torio ..... | 80    |
| » de itrio .....     | 19'5  |
| » de cerio .....     | 0'5   |
|                      | <hr/> |
|                      | 100   |

Proporciones que pueden ser modificadas según la coloración que se desee.

Reducidos a polvo estos compuestos se amasan con un poco de agua *destilada* y un aglutinante cualquiera, y en cuanto la pasta tiene la consistencia deseada, se moldea a presión, para darle la forma cilíndrica y una vez desecados al aire libre, se introducen en un horno de mufla para destruir totalmente el aglutinante.

Los cilindros obtenidos son malos conductores de la electricidad en frío, pero cuando su temperatura llega a 600°, se convierten en buenos conduc-

tores y su conductibilidad es mayor cuanto más elevada es la temperatura; ahora bien, como en régimen de funcionamiento la intensidad de un cilindro Nernst aumenta con la temperatura y, por lo tanto, el calor producido por efecto Joule va subiendo, resulta que la temperatura y la intensidad van creciendo sin límites. Este defecto del aumento excesivo del amperaje queda solventado intercalando una resistencia  $R$  en el circuito del cilindro  $B$ .

Primitivamente, al poner en marcha una lámpara de esta clase, se hacía circular una corriente intensa hasta producir la incandescencia y obtenida ésta, se cortaba este circuito y se cerraba el de alimentación directa. Hoy estas operaciones se hacen automáticamente, bastando para poner en servicio una de estas lámparas cerrar el interruptor.

**Organos de la lámpara.** — Para que estas lámparas pudieran ser útiles en la práctica, fué preciso estudiar detenidamente cuatro órganos:

a) El *cilindro*, construido conforme acabamos de indicar.

b) El *órgano de calefacción*.

c) La *resistencia* aparente o *balastro* destinada a evitar fluctuaciones de luz.

d) El *conmutador*, para cambiar la circulación de corriente en cuanto se ha iniciado la incandescencia.

En su conjunto, una lámpara Nernst es la del esquema adjunto (fig. 19) en la cual, el *cilindro B* y el solenoide de calefacción *A* van encerrados en

un globo lleno de aire, a fin de proteger dichos órganos contra las causas mecánicas de destrucción;  $R$  es la resistencia adicional en el circuito fundamental del cilindro;  $I'$  un interruptor montado en el circuito derivado; este interruptor es accionado por el electroimán  $S$ , cuyo devanado está en serie en el circuito general.

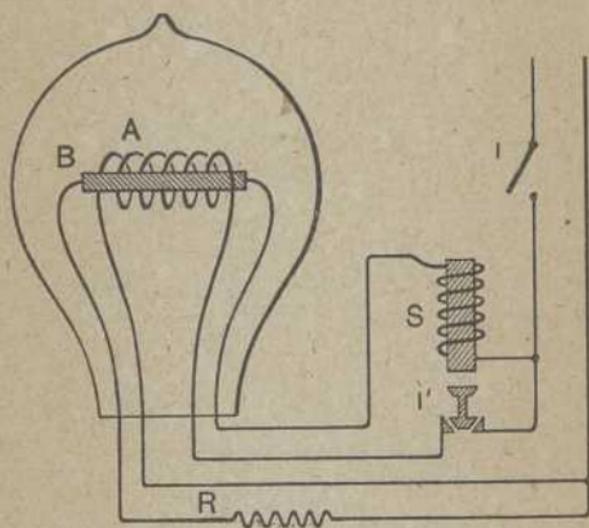


Fig. 19

Al cerrar el interruptor de línea  $I$ , la corriente circula sólo por el circuito derivado, por ser  $B$  muy resistente, el calor que irradia el solenoide  $A$ , calienta al cilindro; cuando éste adquiere la temperatura de  $600^{\circ}$ , se vuelve ya conductor, por lo que la corriente se lanza por el circuito principal atravesando  $B$  y poniéndolo incandescente; al circular esta corriente por  $S$ , atrae al interruptor  $I'$  y corta

automáticamente el circuito derivado. Si por cualquiera causa se interrumpiese la corriente en *B*, el electroimán *S* soltaría el interruptor *I'*, y quedaría cerrado de nuevo el circuito derivado.

Este modelo primitivo de lámpara ha sido en la actualidad modificado, a fin de poderla montar sobre portalámparas al igual que las de filamento de carbón o metálico. La disposición más reciente reúne dentro de un globo o ampolla todos los órganos citados, facilitando su montaje aun para los electricistas más ignorantes (fig. 20); en esta lámpara los órganos citados son:

Cilindro *B*.

Solenoide de calefacción *A*.

Resistencia reguladora de amperaje *R*.

Interruptor *I*.

Electroimán para actuar sobre el interruptor.

La gran analogía intrínseca entre esta lámpara industrial y la estudiada en esquema, hace inútil insistir en su funcionamiento y tanto más cuanto hemos conservado las mismas letras para representar los mismos órganos.

La lámpara en cuestión se construye para intensidades luminosas muy variadas y para potenciales comprendidos entre 110 y 180 voltios. Su consumo específico es bastante pequeño, pues no llega a 2'5 vatios por bujía media.

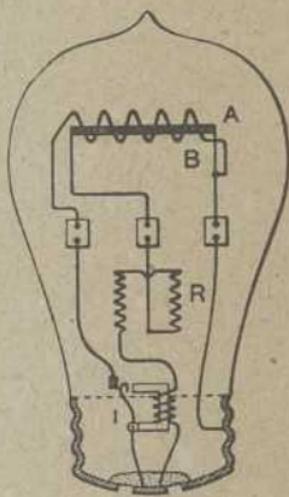


Fig. 20

El éxito que obtuvo la lámpara Nernst, tentó a muchos industriales para obtener otros modelos por modificación del descrito, y de modo especial en cuanto se refiere a la constitución del *cilindro* que convertido en filamento da a las lámparas el aspecto externo de las estudiadas en los capítulos anteriores, y por consiguiente, puede suprimirse el órgano destinado a producir la calefacción inicial.

Estos nuevos filamentos pueden ser *metálicos*, *recubiertos de una capa de óxidos* por adición a la pasta de los cilindros Nernst de *óxidos metálicos*, como el tungsteno y el circonio, o mejor, tungstatos de torio o circonio; por *recubrimiento de un filamento de óxidos metálicos con un depósito de carbón* y finalmente por la reunión aislante de dos hilos metálicos mediante una pasta formada por *óxidos metálicos infusibles*.

Los resultados obtenidos hasta la fecha, no han sido satisfactorios, especialmente en lo que se refiere a la duración, por lo que no siendo industriales, creémos que no corresponden al cuadro que nos hemos propuesto al redactar esta obrita.

## CAPÍTULO V

### LÁMPARAS DE ARCO VOLTAICO. — SU TEORÍA

Al estudiar las lámparas de incandescencia, hemos visto que ésta era producida por el paso de la corriente eléctrica a través de un filamento de pequeñísima sección, por ejemplo de carbón; así como hemos visto que si esta incandescencia era excesiva, o sea, cuando trabajaban forzadas, se destruía rápidamente la lámpara, por disgregarse rápidamente el filamento. De manera que, provocando la disgregación del carbón, se obtiene el máximo de intensidad luminosa, y la luz producida, más que por la incandescencia del filamento del carbón, es ocasionada por la incandescencia de las partículas de carbono, arrastradas de un polo de la lámpara al otro. Esta idea general constituye el fundamento de las lámparas de arco voltaico que, inventadas por Davy y modificadas en su forma exterior, conservan íntegra la teoría inicial.

Si colocamos frente a frente dos barras de carbón, y las conectamos en un circuito con corriente eléctrica, observaremos que si aquéllas se tocan por sus puntas se producirá un calentamiento en el punto de contacto; pero si apartamos ligeramente las barras y la corriente tiene tensión suficiente, en el espacio comprendido entre los dos carbones, aparecerá una chispa eléctrica, que subsistiendo

durante un rato, constituye un foco luminoso de gran utilidad industrial.

El arco voltaico debe ser considerado en su instante inicial como una descarga disruptiva entre dos electrodos separados por una capa de aire, descarga que pierde su carácter de instantánea para convertirse en continua al disgregarse el carbón que forma los electrodos y estas partículas crean una atmósfera conductora por su elevada temperatura, que facilita la formación del arco a tensiones mucho menores, de las que precisarían, si la zona de aire comprendida entre los electrodos no contuviese carbón disgregado.

Durante su funcionamiento, el arco se manifiesta por una llama brillante y diversamente coloreada tan intensa, que no puede mirarse ni aun a través de un trozo de vidrio ahumado, y para poderlo estudiar es preciso proyectarlo convenientemente amplificado sobre una pantalla.

Haciendo esto, se observa que la parte verdaderamente luminosa no es el arco propiamente dicho, sino los extremos de las barras generalmente de carbón, que forman los electrodos, que se han puesto incandescentes. De ellos el que en el desarrollo de la luz hace el principal papel es el positivo o de entrada de la corriente, en el que se observa la formación en su punta o base de una cavidad esférica, llamada *cráter*, a continuación de la cual sigue una zona incandescente, en la que el carbón parece desprovisto de materias gaseosas, zona que está seguida de otra, a menor temperatura. En cambio, la punta incandescente del electrodo o barra

de carbón que forma el polo negativo, se afila y sólo ofrece una zona de incandescencia de temperatura mucho menor.

Al analizar el arco, ha sido preciso estudiarlo bajo las diferentes corrientes y formas de producción, como:

clase de corriente  $\left\{ \begin{array}{l} \text{continua} \\ \text{alterna,} \end{array} \right.$

al aire libre o en vasos cerrados.

El arco propiamente dicho, se forma como hemos visto, en una atmósfera conductora, debido a la ionización de los materiales que forman los electrodos, por lo que en la zona comprendida entre ellos, habrá una mezcla de gases y partículas sólidas, que se quemarán a causa de la alta temperatura del arco y del contacto con el aire; y como cada cuerpo químico comunica a la llama una coloración determinada, tendremos que según cual sea la naturaleza de los electrodos, el arco tendrá determinado color.

Si la *corriente eléctrica es continua*, se observan en el arco cuatro zonas completamente distintas; una zona *a* (fig. 21) próxima al carbón positivo, formada por vapores de carbono ionizado; esta zona es muy resistente, por lo que el desarrollo de calor es sumamente grande, contribuyendo, o mejor, constituyendo por sí sola, la causa de la continua ionización del carbón positivo y, por consiguiente, de la subsistencia del arco voltaico. A continuación de esta zona, y en la parte comprendida entre los dos electrodos, está la segunda *b*, for-

mada por vapores de carbono, y partículas sólidas del mismo cuerpo. Esta zona de poco poder luminoso, es generalmente de color violáceo o purpúreo. Envolviendo a ambas zonas descritas, está la tercera *c*, formada por una mezcla del aire con

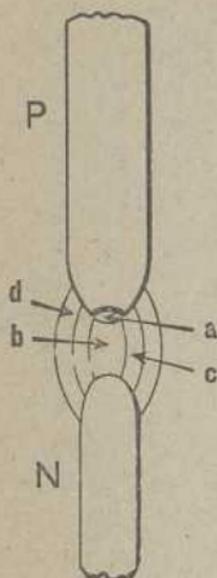


Fig. 21

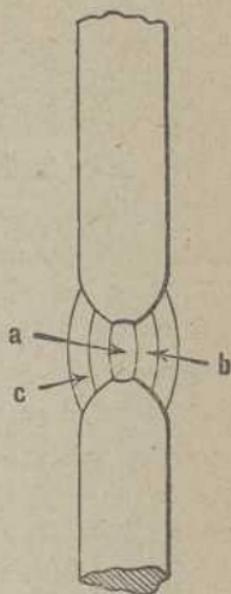


Fig. 22

los gases combustibles que constituyen la parte *b*, esta capa de poco espesor, es muy poco luminosa. Finalmente envolviendo a todas ellas está la cuarta zona *d*, en la cual se produce la combustión de los vapores producidos, constituyendo una verdadera llama que va del carbón positivo al negativo, poniendo a éste en estado de incandescencia.

Si la corriente de alimentación es *alterna*, el arco que se produce sólo presenta tres zonas, confundándose las dos primeras (fig. 22) descritas antes

en una sola, los carbones no ofrecen diferencia alguna entre sí, ya que el arco va cambiando de sentido al invertirse la corriente. Esta variación de sentido del arco, exige que desaparezca a intervalos regulares, de tiempos lo suficientemente pequeños, para que durante ellos no se pierda la conductibilidad eléctrica de la capa de aire que separa los electrodos, rapidez que es asimismo necesaria para evitar que sean perceptibles por nuestra vista las variaciones en la intensidad luminosa del arco.

Para evitar el desgaste de los carbones, se ha pensado en hacer saltar la chispa entre los electrodos colocados dentro de un vaso o *recipiente de vidrio herméticamente cerrado*, dentro del cual quedará almacenado el gas carbónico que se forma al iniciarse el arco. Con esta disposición, si la corriente es *alterna* los carbones no se deforman en lo más mínimo; en cambio si es *continua* el carbón positivo presenta un cráter pequeño, y el negativo un abultamiento semejante al sombrero de una seta.

Finalmente, si en vez de usar electrodos de carbón puro, los empleamos *mineralizados*, obtendremos arcos de mayor rendimiento luminoso, a causa de la mayor conductibilidad de la zona comprendida entre los electrodos, conductibilidad debida a que la ionización, no sólo es del carbono, sino de las substancias minerales que han entrado en su composición.

**Coloración del arco.** — Cuando el arco voltaico se produce entre los electrodos de carbón sin mezcla

de sustancias metálicas, el arco toma una coloración blanca violácea o azulada, luz muy rica en radiaciones químicas; en cambio, si los electrodos son de carbón, al cual se han incorporado diferentes sustancias metálicas, su coloración varía según hayan sido aquellas.

Es, pues, posible elegir las sustancias que permitan obtener coloraciones determinadas.

De las numerosas tentativas hechas, se ha obtenido que si los cuerpos añadidos al carbono son partículas de metal, las coloraciones serán:

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Magnesio . . . . . | Rojo violáceo            |
| Aluminio . . . . . | Verde claro (sin brillo) |
| Cinc . . . . .     | Blanco                   |
| Cobre . . . . .    | Azul                     |
| Hierro . . . . .   | Azul violáceo o rojizo.  |

Si al carbón se le han añadido los metales bajo la forma de óxidos, las coloraciones obtenidas son:

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| Oxido ferroso . . . . .     | Violado      |
| » de estroncio . . . . .    | Róseo        |
| » manganoso . . . . .       | Verdoso      |
| » bórico . . . . .          | Azulado      |
| » cálcico . . . . .         | Rojo         |
| Bióxido de titano . . . . . | Azul violado |

Si los metales se incorporan al carbón en forma de sales aloideas (cloruros o fluoruros), las coloraciones correspondientes a cada metal, serán:

|                          |   |                      |                                    |
|--------------------------|---|----------------------|------------------------------------|
| Cloruro<br>o<br>fluoruro | { | sódico . . . . .     | amarillo claro (luz sin<br>brillo) |
|                          |   | potásico . . . . .   | violado                            |
|                          |   | cálcico . . . . .    | amarillo                           |
|                          |   | cálcico y hierro     | anaranjado                         |
|                          |   | bárico . . . . .     | blanco y blanco azulado            |
|                          |   | estróncico . . . . . | róseo                              |
|                          |   | cúprico . . . . .    | violado                            |
|                          |   | de manganeso .       | blanco verdoso                     |
|                          |   | de titanio . . . . . | gris amarillo                      |

**Temperatura del arco.** — El arco voltaico constituye uno de los más intensos focos caloríficos de que el hombre puede hacer uso para fines industriales; en él se funde el platino, se volatilizan la cal y la magnesia y, en general, las substancias más refractarias. La dificultad de medir estas enorme temperaturas, ha excitado la iniciativa de los físicos, quienes, por procedimientos originales y aparatos especiales han conseguido medir no solamente la temperatura del conjunto, sino de cada una de sus partes.

No corresponde a la índole de este tomo la descripción de los procedimientos empleados para ello, por lo cual, resumiendo los diferentes valores hallados, tendremos que la temperatura media del cráter que se forma en el carbón positivo, es de 3500 grados centígrados y de unos 3000 la del carbón negativo. En lo que concierne al arco, se ha obtenido, como término medio, la enorme temperatura de 3,600°.

**Clasificación de los arcos voltaicos.** — Atendiendo sólo a las partes integrantes sin las cuales es impo-

sible que se forme el arco, dividiremos éste en los grupos siguientes:

Arco con electrodos de carbón.

Arco con electrodos metálicos, que a su vez pueden dividirse en dos grupos, según que ambos electrodos sean del mismo metal, o sean diferentes.

Arco con un electrodo de metal y otro de carbón.

Arco entre un metal y un óxido metálico.

El primer grupo, o sea, el arco formado entre dos electrodos de carbón, ya ha sido estudiado con todo detenimiento al analizar el arco voltaico.

**Arco con electrodos metálicos.** — Ya hemos visto al estudiar el arco de carbón, que éste subsistía merced a la atmósfera conductora formada entre las puntas de los electrodos, debida a la ionización del carbono, que los forma; como esta mayor conductibilidad es necesaria, tendremos que el arco será susceptible, no sólo de producirse, sino de sostenerse, siempre que las materias que forman los electrodos puedan alcanzar este estado especial de disgregación. De ello parece deducirse que para la fabricación de electrodos, será posible adoptar cuerpos metálicos. A pesar de que existen muchos metales que teóricamente tendrían que dar buen resultado, es lo cierto que los arcos voltaicos establecidos entre electrodos metálicos, tanto si son del mismo metal como si son diferentes, no han dado resultados satisfactorios, si se atiende a su finalidad luminosa.

Hemos dicho que el tercer grupo de arcos voltaicos era el que utilizaba un electrodo de carbón y otro metálico. Las observaciones prácticas han permitido establecer, que si la corriente es continua, el arco es regular y, por lo tanto, utilizable industrialmente, siempre que el ánodo sea la barra de carbón; pero si éste es el cátodo, o la corriente alterna, el arco obtenido es irregular.

Por último, el cuarto grupo comprende los arcos formados por un electrodo metálico y otro de óxidos metálicos. En general, estos arcos no son de utilidad alguna, excepto el formado entre un ánodo de latón y un cátodo de *magnetita*, substancia que, como más adelante veremos, está formada de óxido de hierro magnético, hierro cromado y óxido de titanio. La luz obtenida con él es intensa y propia para el alumbrado público. El inconveniente que tienen las lámparas que utilizan estos electrodos, es que sólo funcionan con corriente continua.

**Intensidad luminosa del arco voltaico.** — Hasta aquí hemos considerado el arco voltaico en sus variados aspectos, sin entrar de lleno en el punto más interesante, que es el de considerarlo como foco luminoso. Este punto, que es sin duda el más interesante, cuando menos dado el tema de este tomo, es el que vamos a desarrollar, lo más concisamente posible.

La cantidad de luz emitida por un arco, depende de muchos factores: pero en particular del

Diámetro de los electrodos.

De la clase de corriente.

De su intensidad.

Del voltaje.

Y del modo en que están montadas las lámparas.

Todas estas circunstancias obran simultáneamente, dando un valor resultante para la intensidad luminosa, que es la que miden los fotómetros.

**Diámetro de los carbones.** — Los experimentos hechos para determinar la influencia de cada uno de estos factores, han sido numerosos, los trabajos prolijos, y los resultados que una vez comparados con otros, ya conocidos de antemano, han permitido la formación de gráficos y tablas de uso práctico.

Así, atendiendo al diámetro de los electrodos, se ha encontrado, empleando una corriente de diez amperios bajo la fuerza electromotriz de 40 voltios:

a) *Carbón negativo constante de 6 mm.*

| <u>Diámetro del<br/>carbón positivo</u> | <u>Bujías esféricas<br/>medias</u> |
|---|------------------------------------|
| 18 .....                                | 440                                |
| 16 .....                                | 500                                |
| 14 .....                                | 550                                |
| 12 .....                                | 650                                |
| 8 .....                                 | 760                                |
| 6 .....                                 | 840                                |
| 4 .....                                 | 920                                |

b) *Carbón positivo constante de 16 mm.*

| Carbón negativo<br>de | Bujías esféricas<br>medias |
|-----------------------|----------------------------|
| 18 .....              | 360                        |
| 16 .....              | 390                        |
| 14 .....              | 400                        |
| 12 .....              | 435                        |
| 8 .....               | 480                        |
| 6 .....               | 530                        |
| 4 .....               | 580                        |

De donde se deduce que la potencia luminosa decrece con el diámetro, de uno y otro electrodo.

**Influencia de la colocación de los electrodos.** —

Cuando el arco es de carbón, no es indiferente la posición que se adopte para los electrodos, ya que el máximo de intensidad luminosa lo obtendremos colocando el cátodo en la parte inferior.

Si en vez de ser los electrodos barras de carbón puro y homogéneo, lo fuesen de carbón mineralizado, sería preciso que el cátodo estuviese colocado en la parte superior a fin de evitar que los vapores metálicos, arrastrados por la corriente ascensional de aire, ascendiesen a lo largo del ánodo abandonando el circuito eléctrico; lo que sucede colocando el ánodo en la parte inferior, pues al disgregarse, los vapores metálicos ascienden y se dirigen al cátodo, permaneciendo en la zona de aire que forma el circuito eléctrico.

**Influencia de la intensidad.** — La intensidad de la corriente es uno de los factores más importantes de la intensidad luminosa de las lámparas. La relación existente entre ambos factores, ha sido condensada en fórmulas prácticas, entre ellas la de Palaz

$$\text{Intensidad luminosa} = 7,93 + 19,166 I + 0,3815 I^2$$

fórmula que expresa el valor de la intensidad luminosa en unidades *cárcel*.

Otra fórmula para calcular el mismo dato, deducida de la anterior, es:

$$\text{Intensidad luminosa} = 20 I + 0,4 I^2$$

En general, se observa de estudios fotométricos, que para pequeños amperajes, la intensidad luminosa es pequeña; aumentando la corriente, aumenta poco a poco la luz; hasta que a los 4 ó 5 amperios se establece casi una regularidad en el aumento de la intensidad luminosa.

Como comprenderán nuestros lectores, es imposible dar resultados prácticos útiles, obtenidos en ensayos de laboratorio, ya que cuantos se han hecho, lo han sido en el extranjero, empleando barras de carbón, que aquí no se emplean, por lo que los resultados que en forma de cuadro damos a continuación, deben ser tomados sólo como relativos, nunca en su valor absoluto.

| <u>Amperios</u> | <u>Bujías</u> |
|-----------------|---------------|
| 4 .....         | 300           |
| 6 .....         | 500           |
| 8 .....         | 850           |
| 10 .....        | 1100          |
| 12 .....        | 1200          |
| 14 .....        | 1500          |
| 15 .....        | 1550          |

**Influencia del voltaje.** — Análogamente con lo dicho para el amperaje, el voltaje de la corriente tiene grande influencia en la intensidad de la luz emitida. En general, tenemos, que el voltaje necesario para alimentar un arco voltaico, tiene por máximo de 40 a 60 voltios, pues la experiencia ha comprobado que a mayor voltaje del indicado, la intensidad luminosa decrece.

Los resultados obtenidos en laboratorio han sido muy diferentes, según la procedencia de los carbonos que han servido de electrodos; de modo que al igual que en la tabla anterior, la que damos a continuación sólo es de valor relativo, para guía de nuestros lectores:

| <u>Voltios</u> | <u>Bujías</u> |
|----------------|---------------|
| 25 .....       | 410           |
| 40,5 .....     | 750           |
| 48,9 .....     | 915           |
| 53 .....       | 1020          |
| 57,8 .....     | 1010          |
| 62,8 .....     | 980           |
| 73 .....       | 920           |

**Influencia de la clase de corriente** — Ya hemos visto que para el buen funcionamiento del arco y para su subsistencia, era necesario una corriente que circulase en el mismo sentido, y que al utilizar la corriente alterna, se producían una serie consecutiva de extinciones y formaciones del arco, fluctuación que redunda en disminución de la intensidad luminosa.

Ensayos fotométricos hechos, han permitido comprobar que, en general, un arco voltaico, a igualdad de los restantes factores, da mayor intensidad luminosa empleando la corriente continua que la alterna.

Así, un arco alimentado por una corriente de 20 amperios, produce:

| Voltios    | Bujías corriente continua | Bujías corriente alterna |
|------------|---------------------------|--------------------------|
| 31,5 ..... | 860 .....                 | 610                      |
| 37 .....   | 1180 .....                | 870                      |
| 40 .....   | 1400 .....                | 1020                     |
| 46 .....   | 1660 .....                | 930                      |
| 50 .....   | 1780 .....                | 800                      |
| 54 .....   | 1700 .....                | 710                      |

**Influencia de la naturaleza del medio gaseoso en que se produce el arco.** — Ya hemos visto que el arco voltaico podrá producirse al aire libre o en vasos cerrados. En el primer caso las radiaciones luminosas que emergen del arco, tiende a dirigirse hacia abajo, considerándose como máximo las que toman la inclinación de 50° con el plano horizontal.

En cambio, al formarse el arco dentro de un vaso cerrado, las radiaciones luminosas son más horizontales, alcanzando su máximo en las de 25° de inclinación.

**Consumo específico de los diferentes arcos.** — Depende de tantos factores la intensidad luminosa de un arco voltaico, que es imposible con un poco de exactitud dar el consumo específico, o sea, el número de vatios consumidos por bujía media producida. Sin embargo, ordinariamente se adoptan los siguientes datos:

|  | Vatios<br>por bujía |
|--|---------------------|
| Carbones puros homogéneos .....            | 0'514               |
| Lámparas de llama, carbones verticales.... | 0'396               |
| Lámparas de llama, carbones convergentes.  | 0'202               |

Cuando los electrodos son de carbón mineralizado, el rendimiento aumenta, por lo que el consumo específico disminuye, así:

|   |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|
| Un carbón mineralizado<br>situado en la parte<br>inferior | } como cátodo .... | 0'513              |
|   |                    | } como ánodo ....  |
| Un carbón mineralizado<br>situado en la parte<br>superior | } como cátodo .... |                    |
|   |                    | } como ánodo ..... |

De la comparación de ambos resultados se deduce que el rendimiento, cuando el arco está alimentado por corriente continua, es el 50 % de cuando lo está por alterna.

## CAPÍTULO VI

### LÁMPARAS DE ARCO CONSTITUCIÓN DE LOS ELECTRODOS

Al describir el arco voltaico en el capítulo anterior, hemos visto que aquél se produce cuando salta la chispa entre dos barras conductoras, cuyas puntas o extremos están próximos.

En virtud de ello, por ser estos electrodos los órganos esenciales de la lámpara, vamos a estudiar con todo detenimiento su fabricación.

Diferentes son las clases de electrodos empleados, por lo que los dividiremos en tres categorías:

- 1.º Electrodos de carbón homogéneo sin mecha o con ella.
- 2.º Electrodos metálicos.
- 3.º Electrodos mixtos.

**Electrodos de carbón homogéneos.** — Como la lámpara de arco fué la primera conocida, se comprende que desde 1840 hasta la fecha hayan ido modificándose los métodos de fabricación, muchos de los cuales sólo merecen hoy un recuerdo, ya que los productos que se obtienen son caros e imperfectos. Teniendo en cuenta lo limitado del espacio que ofrecen los tomos de esta biblioteca, creemos innecesario estudiar las evoluciones de la fabricación,

y nos concretaremos a detallar cuanto nos es posible el método actual de fabricación, que es lo que puede interesar a nuestros lectores.

En la técnica moderna de su fabricación se ha logrado, introduciendo el máximo de máquinas, obtener los electrodos a precios tan sumamente reducidos, que han hecho práctico el alumbrado mediante lámparas de arco, a pesar del gasto continuo que representa el recambio diario de los carbones.

A fin de dar una idea lo más completa posible de esta industria, estudiaremos:

1.º Los materiales empleados y su preparación previa.

2.º Su mezcla, o sea, confección de la pasta.

3.º Su cocción y calibrado.

1.º *Materiales empleados.* — Constituidos los electrodos a base de carbón, podremos utilizarlos en sus diferentes modalidades; estos materiales reducidos a polvo, precisa amasarlos mediante un aglutinante que casi siempre es el alquitrán. Estas materias han de ser lo más puras posible, puesto que de ellas depende la fijeza de la luz.

Las diferentes calidades de carbón que podremos emplear, son:

a) *Carbón de retorta.* — Que consiste en una variedad de carbón que se deposita en las paredes interiores de las retortas en que se fabrica el gas. Tal como se tiene en las retortas es muy impuro, pues generalmente se obtiene recubierto por una ganga formada de silicatos que es preciso separar; esta operación sumamente delicada, exige operarios experimentados que con el cincel van arran-

cando el carbón de retorta de su ganga correspondiente. Durante esta selección se separan las partes negras de las grises, pues estas últimas se destinan para fabricar las escobillas de las máquinas.

El carbón de retorta es un cuerpo buen conductor del calor y de la electricidad, a alta temperatura se convierte en grafito, es sonoro, compacto y duro, al arder deja sólo de 3 a 4 % de cenizas.

b) *Cok de petróleo*. — Este producto, muy empleado en los Estados Unidos, es un residuo de las refinerías de petróleo. Este carbón se presenta bajo una masa negra brillante, cavernosa, y de fractura concoidea. Tiene la ventaja de dejar muy pocas cenizas (el 1 %); pero, en cambio, tiene muy pequeña conductibilidad eléctrica que aumenta algo después de sometido a altas temperaturas.

c) *Negro de humo*. — De todos conocido es este producto, por lo que creemos innecesario su descripción. Es el más empleado en la fabricación de electrodos para arcos voltaicos, pero se le mezcla con un poco de carbón vegetal. Antes de emplearlo es preciso reducirlo a polvo impalpable, mediante molinos especiales.

d) *Hulla, cok de hulla, antracita*. — Estos productos se emplean poco porque contienen muchas impurezas de difícil y costosa separación.

Como aglutinante hemos dicho que se empleaba exclusivamente el *alquitrán*, residuo de la fabricación del gas y se usa tal como sale de estas fábricas, pues es suficientemente líquido y puro.

El alquitrán de gas se almacena en grandes depósitos provistos de un serpentín, por el cual se

hace circular una corriente de vapor cuando queremos extraer alquitrán del depósito, pues al calentarlo adquiere mayor grado de fluidez que permite su fácil transporte.

2.º *Mezcla y confección de la pasta.*— La primera operación que hay que ejecutar, es la trituración del carbón, hasta reducirlo a polvo lo más fino posible, lo cual se logra mediante molinos trituradores especiales. Cuando lo que se tritura es el *carbón de retorta*, como es tan duro, resulta que reducido a polvo, contiene cierta cantidad de hierro, que es necesario separar antes de agregar el aglutinante, lo que se consigue mediante potentes electroimanes que atraen las partículas de hierro que pudiera contener el polvo carbonoso.

Si lo que tiene que triturarse es el *cok de petróleo*, se rompen primeramente los panes en trozos de regular tamaño (máximo 50 milímetros de lado), los cuales se colocan dentro de retortas y se calientan a alta temperatura, durante 10 a 15 horas; con ello se les elimina la humedad y se los hace buenos conductores, terminándose la operación con la molienda.

Preparada la materia carbonosa, tal como hemos dicho, puede ya pasarse a la confección de la pasta agregando *alquitrán* al polvo de uno de los carbones citados o a mezclas especiales que cada industrial ha ido combinando.

La composición inicial varía con el grado de dureza y de consistencia que se desea obtener en los carbones.

La amasadura del polvo de carbón con el alqui-

trán, debe hacerse en caliente durante media hora hasta que la masa queda recubierta de perlas grises; las partículas de carbón van adhiriéndose mediante el alquitrán, de modo que al final de la operación la pasta toma la apariencia de una especie de grava negra de diversos tamaños, soldados a otros granos negros. Al salir de este aparato, pasa por otras muelas hasta que la pasta adquiere la homogeneidad y consistencia deseada. En estas condiciones se da a la pasta la forma de *cartuchos* o cilindros de 20 a 30 centímetros de diámetro, que contienen pasta suficiente para elaborar de 250 a 275 metros de barras, después de pasados por la hilera.

**Cilindrado de la pasta.** — Terminada la amasadura y formados los cartuchos antes citados, se acaba la operación del moldeado haciéndolos pasar por la hilera a fin de darles el diámetro necesario.

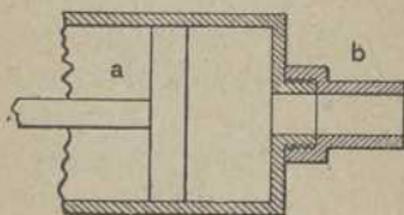


Fig. 23

Dos son los procedimientos empleados, el europeo y el americano.

Para el primero, precisa el empleo de una prensa hidráulica que actúa sobre el émbolo *a* (fig. 23) que se mueve dentro de un cilindro, en cuyo fondo hay

una abertura provista de un saliente fileteado en el cual se le enrosca la hilera propiamente dicha, consistente en un tubito *b* de diámetro interior algo mayor que el que hayan de tener los carbones. Colócase el cilindro horizontalmente, de modo que el orificio de la hilera coincida con la superficie de una mesa. Llenando el cuerpo del cilindro con uno de los cartuchos elaborados con la pasta, bastará que mediante la prensa hidráulica hagamos avanzar al émbolo, para que, empujando éste a la masa, la obligue a salir por el orificio de la hilera y quede sobre la mesa, frente a la cual hay un operario que va cortando el cilindro que se forme en trozos algo mayores que la longitud que debe tener cada carbón.

En América, donde se utiliza como primera materia el cok de petróleo, varía algo la técnica de la elaboración, ya que al mezclar el cok con el aglutinante no es preciso formar una verdadera pasta, sino que basta con que aquél forme un polvo uniforme y compacto que se moldea a presión. Los moldes consisten en dos placas de acero que presentan en hueco las barritas de carbón que se desean. El operario coloca el polvo de la pasta sobre una de las placas del molde y la recubre con la otra placa calentando luego lenta y progresivamente a fin de transformar la materia en una pasta espesa. Al cabo de algunas horas se retira el molde del horno y se somete a enorme presión, terminada la cual y en cuanto están frías, se retiran del interior del molde una barras o cilindros que tan sólo les falta la cocción para que puedan ser empleados como electrodos en las lámparas de arco.

**Cocción y terminación.** — Al principio la cocción se efectuaba colocando cada cilindro así elaborado, en una caja de tierra refractaria que luego se calentaba al rojo en un horno. En la actualidad, se colocan dentro de grandes cajas de tierra refractaria gran cantidad de cilindros elaborados; después de haberlos espolvoreado de grafito a fin de impedir que se adhieran durante la cocción; la caja se acaba luego de rellenar con polvo de cok para desalojar lo más completamente posible el aire y después de cerrada herméticamente la caja, se colocan en un horno análogo a los de cocción de porcelana.

Terminada la cocción, se retiran del horno las cajas que contienen las barritas de carbón, que se abren en cuanto se han enfriado y se procede luego a escoger y acabar.

La operación de escoger tiene por objeto separar las barras que se hayan encorvado durante la cocción, pudiéndose formar tres clases: las que no se han deformado, las que se han encorvado ligeramente y las que han sufrido mayor curvatura. Estas últimas se desechan y las segundas se destinan a formar un producto de baja calidad, que se vende a precios mucho menores que las barras rectas.

Los electrodos o carbones que se destinan al consumo, pasan al taller de terminación donde con muelas de esmeril o carborundo se da a uno de los extremos la forma cónica.

**Electrodos de carbón con mecha.** — La industria moderna utiliza muchos electrodos de carbón

provistos de una *alma* o núcleo formado de materiales distintos de los que constituyen el cuerpo del electrodo.

La ventaja de estos electrodos huecos de carbón y rellenos de otros materiales es muy grande, ya que permiten separar las puntas de los electrodos y disminuir la tensión necesaria para que salte la chispa.

Aparte de los materiales que hemos descrito y que emplearemos para confeccionar el cuerpo del electrodo, es necesario conocer los que entran en la composición de la mecha, que en general consta de una mezcla de carbón y un 5 a 15 % de silicatos u otras sales que variarán según el color que quiera darse a la luz; por algunos industriales, a esta pasta se han añadido polvos metálicos, como son los de aluminio y óxidos, como el de manganeso.

Como ejemplo de composiciones de mechas, citaremos las más empleadas:

#### Luz amarilla:

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Carbón .....            | de 45 a 50 % |
| Silicato potásico.....  | de 9 a 6 %   |
| Fluoruro de bario ..... | de 46 a 44 % |

#### Luz blanca agrisada:

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Carbón .....            | de 44 a 49 % |
| Silicato potásico.....  | de 7 a 12 %  |
| Fluoruro de calcio..... | de 49 a 39 % |

Luz blanca-amarilla clara, empleando en las mechas de los carbones positivos:

|  |          |
|--|----------|
| Fluoruro de calcio.....                  | 2 partes |
| Tungstato de calcio.....                 | 2 »      |
| Tungstato de sodio o sulfato potásico... | 1 »      |

Materiales que se amasan con un aglutinante; por ejemplo, una solución de dextrina.

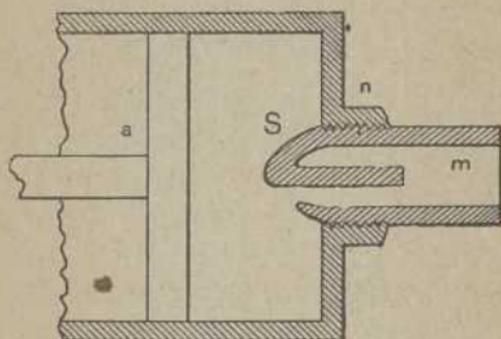


Fig. 24

**Fabricación.** — La fabricación de los electrodos con mecha es análoga a la descrita, en cuanto se refiere a la confección de los cilindros de carbón y especialmente a la confección de las pastas y cocción; la diferencia fundamental está en el moldeado y el relleno del hueco que exige mucho cuidado, ya que de no hacerse éste por completo, se produciría un contacto imperfecto entre el cilindro y la mecha, que daría lugar a la formación de chispas internas que serían causa de mal funcionamiento de la lámpara.

Para proceder al moldeado, se utilizan hileras especiales; la más corrientemente empleada es la de la figura 24 constituida por un tubo *m*, termi-

nado por uno de sus extremos en una parte cónica s, que a la vez sirve para sujetarla al reborde que presenta el orificio de la base del cilindro de la prensa hidráulica. La punta de la parte cónica de la hilera sostiene un estilete que ocupa el centro del hueco de la hilera, de manera, que al moverse el émbolo comprimiendo los cartuchos contenidos en el cuerpo de la prensa saldrá la pasta por el tubo pero presentando el hueco que haya moldeado el estilete.

En lo que se refiere al relleno del alma o colocación de la mecha, mediante prensas o a mano, precisa una nueva cocción.

**Electrodos metálicos.** — Aunque se ha tratado de reemplazar los electrodos de carbón por otros metálicos, constituidos por metales o por aleaciones, los resultados obtenidos no han sido satisfactorios, pues sólo un escasísimo número de ellos han logrado dar buenas coloraciones a la luz; entre los primeros citaremos el cobre, el aluminio y el hierro, y entre los segundos, el ferrotitano.

La aplicación de estos electrodos, mucho más caros que los ordinarios de carbón, puede hacerse de dos modos distintos; empleándolos en forma de polvo más o menos fino, colocado en cilindros metálicos, o bien, en forma de láminas o cilindros macizos análogos a los carbones ordinarios. Los inconvenientes principales de estos electrodos, son las variaciones de resistencia que experimenta el circuito, las cuales modifican constantemente la intensidad de la luz producida.

Al clasificar las lámparas atendiendo a sus electrodos, hemos visto que éstos podían ser metálicos y que respecto al poder luminoso, ningún metal ni aleación habían dado resultados satisfactorios excepto los formados por una aleación de hierro y titano, magnesio y cobre latón. Su fabricación queda reducida a preparar la aleación y fundida, moldearla a fin de que tenga las dimensiones necesarias.

En general, estos electrodos no se usan; su empleo se reserva solamente para las lámparas en que el cátodo es de *magnetita*.

**Electrodos mixtos.** — Estudiando la coloración del arco en el capítulo anterior hemos visto que ésta variaba según fuesen las materias minerales que se hubieran incorporado al carbón cuando se fabrican las barras. A estos electrodos constituidos por carbón y substancias metálicas se les ha denominado *mixtos*, los cuales pueden agruparse en tres categorías:

- a) Electrodos de carbón impregnado de substancias minerales, generalmente fluoruros y boratos.
- b) Electrodos de carbón con óxidos metálicos.
- c) Electrodos heterogéneos.

**Primer grupo.** — La mineralización de los electrodos de carbón presenta ventajas innegables, *pues regulariza la llama y asegura su fijeza, acrecienta el rendimiento luminoso del arco, facilita la*

*formación de escorias* haciéndolas fácilmente *fusibles* y da a las llamas una *coloración determinada*. A estas innegables ventajas oponen otros los siguientes inconvenientes: *desgaste rápido* de los carbones y *formación de humos*.

La fabricación de estos electrodos de composición sumamente variable y de la cual esta fórmula:

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| Carbón .....                     | 50 %        |
| Fluoruro cálcico .....           | 35 % a 40 % |
| Mezcla de boratos y álcalis .... | 10 % a 15 % |

es una de las muchas que podríamos citar y que constituye una operación industrial sumamente delicada, pues es preciso que la pasta total sea homogénea y que cada uno de los elementos integrantes se hallen repartidos por igual en toda la masa. Esta dificultad mayor de lo que muchos se figuran, tiene que ser vencida, pues de ella depende el que el arco permanezca estable y que la luz sea fija y de color invariable.

Los industriales, antes de añadir al carbón las substancias mineralizantes las reúnen entre sí, ya reduciéndolas todas juntas a polvo impalpable, ya fundiéndolas y luego triturándolas. Obtenida la homogeneidad en la parte mineral, se incorpora el carbón y después de amasado se pasa la pasta por la hilera.

**Segundo grupo.**— Este grupo comprende los electrodos de carbón habiendo incorporado a éste

óxidos metálicos. De todos los ensayos efectuados, sólo uno ha dado resultados verdaderamente prácticos, mezclando al carbón óxido titánico, o bien, incluso suprimiendo el carbón y constituyendo el electrodo exclusivamente de óxidos metálicos.

La proporción más empleada es la denominada *magnetita*, formada de:

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Oxido de hierro magnético ..... | 60 % |
| » de titano (rútilo).....       | 27 % |
| Hierro cromado .....            | 13 % |

Para su fabricación, primeramente hay que reducir a polvo las materias que deben constituir el electrodo y después de mezcladas en la proporción dicha, amasarlas mediante un aglutinante; la glicerina, por ejemplo. Cuando la masa tiene ya la consistencia conveniente, se moldea con prensas hidráulicas, formándose las barras que se desean lentamente, es decir, primero al aire libre, luego a 500° y finalmente lo son a 1500°.

**Tercer grupo.** — Lo constituyen los carbones heterogéneos formados por un núcleo de carbón recubierto de una finísima capa o envolvente metálica de *cobre* ordinario o *níquel*. Esta envolvente que se deposita por galvanoplastia comunica al electrodo gran conductibilidad eléctrica, disminuye el gasto de electrodos y evitando que, después de muchas horas de funcionar toda la barra se haya puesto incandescente como se ha observado en los de carbón homogéneo.

La disminución del desgaste es tan notable, que para su mayor confirmación vamos a dar el resultado de varios estudios comparativos:

| <u>Diámetro del electrodo</u> | <u>Clase de electrodo superficial</u> | <u>Longitud gastada por hora</u> |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 7 mm.                         | Carbón .....                          | 234 mm.                          |
|                               | » cobreado .....                      | 186 »                            |
|                               | » niquelado .....                     | 144 »                            |
| 9 mm.                         | Carbón .....                          | 154 mm.                          |
|                               | » cobreado .....                      | 132 »                            |
|                               | » niquelado .....                     | 104 »                            |

## CAPÍTULO VII

### TIPOS INDUSTRIALES DE LÁMPARAS DE ARCO VOLTAICO

Idealmente, una lámpara de arco voltaico consta de dos barras, electrodos o carbones, sostenidos por dos soportes, que a su vez constituyen los polos o bornes de conexión; pero, como hemos visto, que para iniciar la chispa precisaba que estando en contacto los electrodos, éstos fuesen separándose poco a poco, será preciso que el conjunto del aparato permita ejecutar este movimiento automáticamente, así como que se conserve constante la longitud del arco en cuanto se ha formado, a pesar del desgaste grande que sufre el electrodo positivo. Una lámpara industrial comprende, pues, un aparato regulador complicado, al cual es preciso resguardar del polvo y de la lluvia, y que será preciso revisarlo con frecuencia, para que todas sus partes funcionen normalmente.

**Lámparas con carbones verticales.** — *Clasificación de las lámparas.* — Las lámparas de arco voltaico hoy en uso, han admitido distintas clasificaciones, según desde el punto de vista que se las ha considerado; la mayor parte de ellas, más que en la esencia de la lámpara, se distinguen en consi-

deraciones no intrínsecas de su construcción; por lo que sus autores no han cuajado en el campo de la ciencia. La única que ha merecido aceptación universal y que, por lo tanto ha sido aceptada por la totalidad de los tratadistas, es la fundada en la forma de obtener la autorregulación; así, pues, fundándonos en ésta, estudiaremos las lámparas industriales en tres grupos:

- 1.º Lámparas con regulador en serie.
- 2.º Lámparas con regulador en derivación.
- 3.º Lámparas con regulador diferencial.

*Primer grupo.* — La lámpara de arco con el regulador en serie, consta esquemáticamente (fig. 25) de dos carbones, el inferior *N* fijo, obra como cátodo y el superior *P* constituye el ánodo; éste, que es móvil, está sujeto al extremo de un hilo *a*, que pasa por la garganta de una polea guía *R*, y termina por el otro extremo en una pesa de hierro, que a la par que mantiene el equilibrio del carbón positivo *P*, forma el núcleo de un electroimán, cuyo devanado está montado en serie con el circuito de la lámpara.

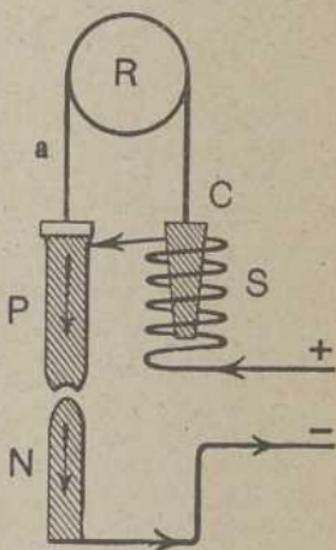


Fig. 25

En estado normal, estando apagada la lámpara, el carbón *P* pesa algo más que el núcleo *C*, contrapeso; por lo que los dos carbones *P* y *N*, tocándose,

cerrarán el circuito buen conductor. Si cerramos el interruptor, circulará la corriente libremente; pero al pasar por *S* atraerá el núcleo *C*, levantándose el carbón positivo y entonces salta el arco entre las puntas de *P* y *N*. Si por cualquiera causa, esta distancia aumentase y el voltaje de la corriente fuere insuficiente para vencer la resistencia del aire, cesará de circular la corriente, por lo que *S* dejará de atraer al núcleo *C*, aproximándose los carbones para que el arco pueda reaparecer.

Este tipo genérico, ha sido subdividido en tres grupos:

- a) Lámparas de acción directa.
- b) Lámparas con engranajes.
- c) Lámparas con frenos.

Consecuentes en nuestro propósito de obtener el máximo de claridad, prescindiremos en nuestras explicaciones de dibujos completos de los aparatos que vayamos citando, concretándonos a su estudio puramente esquemático, mucho más práctico, ya que despojando al mismo de su forma exterior puramente circunstancial, permite conocer a fondo el porqué del funcionamiento de los aparatos y en dónde pueden residir las averías.

a) *Lámparas de acción directa.* — A este subtipo pertenece la lámpara Froment. Su mecanismo regulador está formado por un electroimán *B* (figura 26) cuyo núcleo puede moverse en su interior y a la vez sirve de apoyo al carbón positivo *P*. Este núcleo *E* es hueco y lleva en su interior un resorte que empuja al carbón *P*, para que se ponga al tope con el negativo *N*. En la parte supe-

rior e interiormente del carrete *B*, hay una pieza que limita la posición del núcleo cuando al ser atraído penetra en el interior de su carrete. Este no está fijo en la armazón de la lámpara, sino que, cuando por la acción de la corriente penetra el núcleo, se comprime el resorte y éste levanta la pieza *Z*,

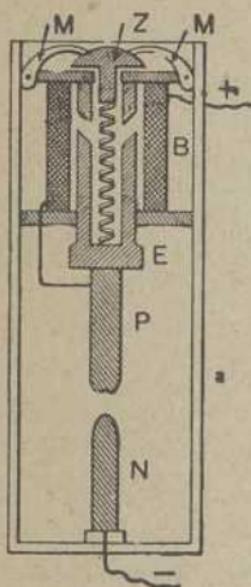


Fig. 26

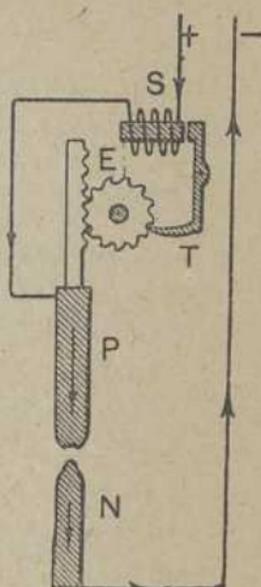


Fig. 27

que levantando los gatillos frenos *M*, permiten al electroimán deslizarse hacia arriba aumentando la longitud del arco.

Al cesar la corriente de alimentación, el resorte pone otra vez al carbón *P* en contacto con el *N*.

b) *Regulación por engranajes.* — En su más sencilla expresión una lámpara en serie con regulación por engranajes consta de los dos carbones superpuestos *P*, *N* (fig. 27); el superior o positivo, va

unido a una cremallera que engrana con el piñón *E*, retenido por el trinquete *T*, el cual está constituido por una palanca, en uno de cuyos extremos hay una placa de hierro que puede ser atraída por el electroimán *S*. Al circular la corriente tocándose casi los carbones, salta la chispa entre ellos; pero con el desgaste de los mismos, va aumentando la longitud del arco, y cuando ésta es excesiva para el voltaje de que se dispone, cesa momentáneamente la corriente, el núcleo de *S* se desmanta y deja de atraer la palanca trinquete *T*, quedando libre el piñón *E*; en virtud de lo cual, el carbón *P* desciende por su propio peso, hasta que restablecida la separación necesaria, reaparece el arco, y el trinquete *T* detiene la rueda *E* y la cremallera en su descenso.

*c) Reguladores de freno.* — Pertenecen a este tipo, un grupo de lámparas en las cuales el núcleo del solenoide actúa sobre un sistema de pinzas que sujetan el carbón durante su descenso. Estas lámparas no han tenido aceptación, por lo cual nos limitamos a citarlas sin entrar en más detalles.

**Reguladores en derivación.** — Como su nombre lo indica, el devanado de su electroimán regulador está montado en derivación; por lo que precisará que tenga mucha resistencia a fin de que absorba el mínimo de corriente, durante el funcionamiento. Esquemáticamente, esta lámpara consta de los dos carbones (fig. 28) *P* y *N*, movable el primero, que está suspendido de un hilo, que pasando por la polea *R*, sostiene por el otro extremo el núcleo *C* del electroimán *S*, cuyo devanado forma un cir-

cuito derivado de la línea de alimentación. Ordinariamente los carbones están separados, pues *C* pesa más que *P*; por lo que, al cerrar el circuito eléctrico toda la corriente pasará por *S*, que atrayendo el núcleo *C*, hará descender el carbón positivo *P*, hasta que la separación entre *P* y *N* sea pe-

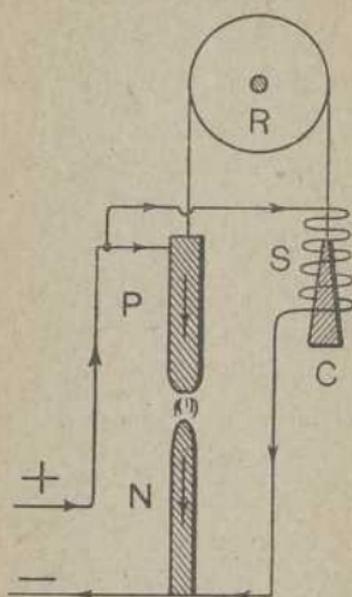


Fig. 28

queña para saltar la chispa: al formarse ésta, se produce un desgaste en los carbones y cuando éste es tal que la corriente no puede circular, vuelve ó actuar el electroimán para restablecer las distancias.

Al llevar esta teoría a la práctica, ha dado lugar a dos tipos distintos:

- a) Regulados por engranaje.
- b) Regulados por trinquete.

a) *Regulados por engranaje.* — A este tipo pertenece la lámpara Brianne (fig. 29) que consta de los dos carbones *P* y *N*, de los cuales el *P* está sujeto al extremo de una cremallera *C*, que engrana con un piñón *M*, cuyo movimiento es solidario del de la rueda dentada, que a su vez engrana con

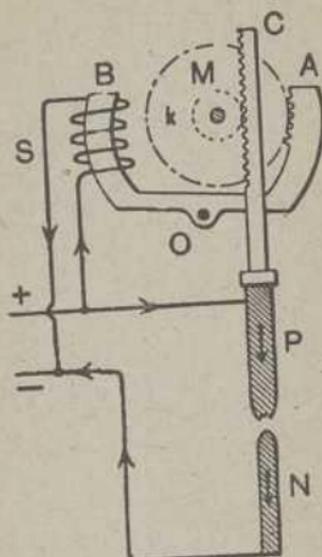


Fig. 29

un sector dentado *A*, fijo en el extremo de un balancín que oscila alrededor de *O*. El otro extremo del balancín *B*, forma el núcleo del electroimán de regulación *S*, montado en derivación con el circuito. Las oscilaciones bruscas del balancín quedan amortiguadas por el peso relativamente grande que se da a esta pieza.

Esta lámpara puede utilizarse lo mismo con corriente alterna que con continua.

b) *Regulación por trinquete.* — Partiendo del principio de las lámparas reguladas en derivación, la Compañía General de Electricidad de Creux, ha creado un modelo especial.

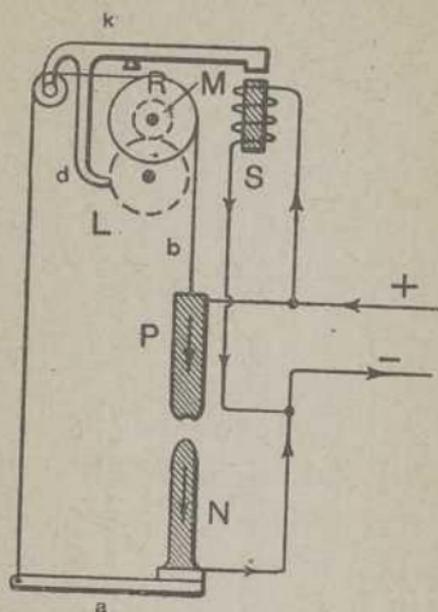


Fig. 30

Esta lámpara consta de los dos carbones *P* y *N* (fig. 30) ambos movibles, el primero suspendido de un hilo *b* que pasa por las poleas *R*, *O*, y que sostiene al apoyo *a* del carbón *N*, el eje de la polea *R* lleva un piñón *M*, que engrana con la rueda de trinquete *L*, sujeta por el gatillo *d*, que forma parte de la palanca *k*, que a su vez es el núcleo del electroimán de regulación *S*.

Al poner en marcha la lámpara, los carbones *P* y *N* están muy apartados, por lo que la corriente

circula por el solenoide *S* y atrae a su armadura, oscila la palanca *K* y quedando libre *L*, el carbón por su propio peso desciende a la par que arrastra hacia arriba al soporte *a* del carbón negativo. Mediante este doble movimiento, se disminuye el tiempo de regulación, por lo que el arco conserva una fijeza verdaderamente notable.

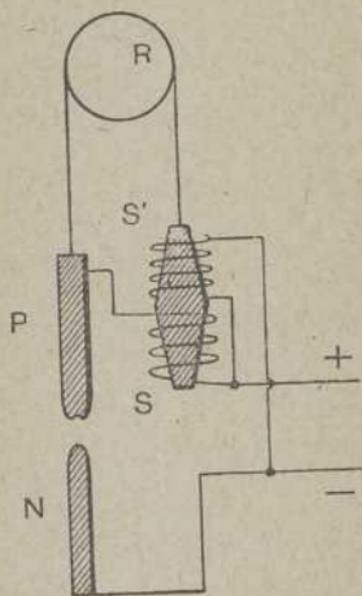


Fig. 31

**Reguladores diferenciales.** — Constituyen estos reguladores el tercer tipo fundamental y como su nombre indica vienen a ser la reunión de ambos procedimientos. En virtud de ello se tiene que todo regulador de esta clase comprenderá dos devanados, uno de hilo grueso *S* (fig. 31) que estará en

serie con el circuito y otro de hilo fino  $S'$ , que lo estará en derivación, alojado dentro de ambos devanados, hay un núcleo doble suspendido de un hilo que después de arrollarse en la polea  $R$ , sostiene el carbón positivo  $P$ , colocado sobre el  $N$ .

En estas lámparas, la iniciación del arco es independiente de la situación de los carbones, pues si están próximos o tocándose actúa sólo el devanado en serie  $S$  y si están demasiado apartados funciona el  $S'$ , acercándolos. Estos dos movimientos del carbón positivo hacen que en cuantas lámparas se ha adoptado hayan dado excelentes resultados prácticos y que sea el tipo aceptado por la mayoría de las casas constructoras.

Las lámparas industriales provistas de este sistema de regulación, las podremos clasificar en:

- a) Lámparas de acción directa.
- b) Lámparas de freno.
- c) Lámparas de motor.

a) *Regulación directa.* — La lámpara Pilsen, puede considerarse como la típica de este sistema, que consta de dos electroimanes, el  $S$  en serie y el  $S'$  en derivación (fig. 32), provistos cada uno de ellos de su núcleo  $E$  y  $E'$ , suspendidos de los extremos de un mismo hilo que pasa por una polea  $R$ . El  $E$  a su vez sostiene el soporte del carbón  $P$ , mientras el otro  $E'$  sostiene el carbón negativo  $N$ .

La separación de los carbones se obtiene por el doble movimiento de los dos núcleos que constitu-

yen una especie de balanza que en cada instante busca su posición de equilibrio, determinado por la máxima longitud de la chispa producida entre los dos carbones.

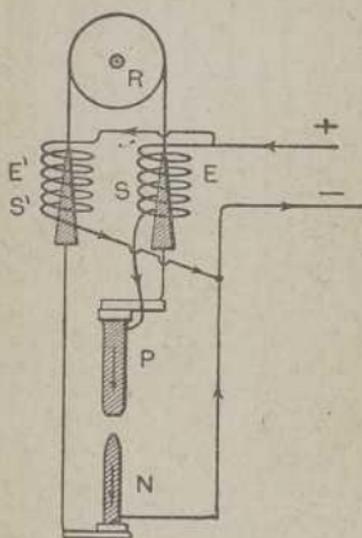


Fig. 32

b) *Regulación por freno.* — Gran número de lámparas toman el frenamiento del carbón como punto de partida para la regulación. Entre ellas las Barden ocupan el primer lugar. La gran variedad de modelos creados por esta misma casa, hace que creamos más útil tomar un tipo esquemático de regulación por freno, al cual puedan compararse las demás en uso.

En líneas fundamentales, el carbón positivo *P*, está suspendido de una cremallera *C* (fig. 33) que

engrana con un piñón, cuyo eje lleva el cilindro o polea freno *F*. Lateralmente está el electroimán en derivación *S'* cuyo núcleo atrae una palanca *a*, en cuyo extremo está la zapata *n* de freno. El otro carbón *N*, está fijo sobre un soporte, que es la armadura del otro electroimán *S*, en serie. Por la simple

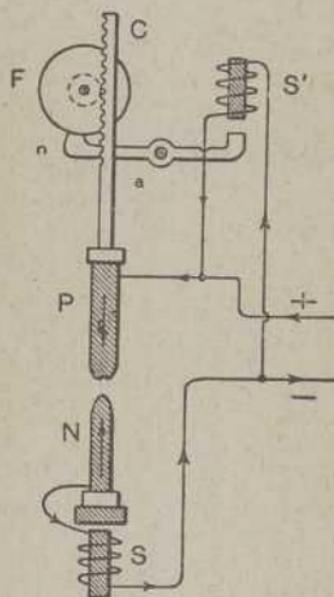


Fig. 33

descripción, se comprende que al circular la corriente, si los carbones están excesivamente separados funcionará *S'*, el cual atrayendo *a*, hará que la zapata *n* deje de frenar sobre la polea *F* y quedando libre el piñón, descenderá el carbón positivo, que se pondrá a distancia conveniente del *N*, para que salte la chispa.

Al contrario, si los carbones se tocan, funcionará el electroimán en serie *S*, que atrayendo la armadura hará descender el carbón negativo *N*, haciendo que salte el arco inicial entre *P* y *N*.

c) *Regulación por motor.* — Las lámparas de regulación mediante motor son muy empleadas en las redes de distribución con corriente alterna, a

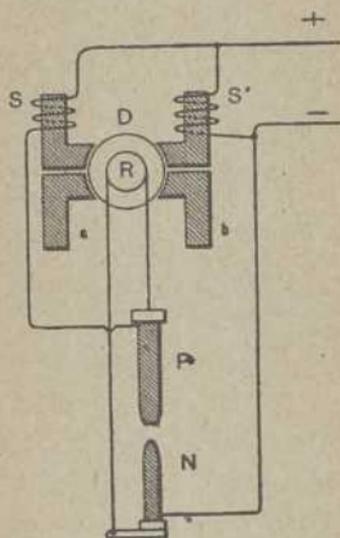


Fig. 34

causa de la facilidad con que funcionan los motores asincrónicos. Estas lámparas son muy sensibles y de regularidad perfecta, pues sus órganos se desplazan con las menores variaciones de corriente.

A este tipo pertenece la lámpara creada por la casa Fabens Henrion, de Nancy. En ella, los dos carbones *P* y *N* son movibles, sostenidos por un cable que pasa por la garganta de una polea *R* (figura 34) acoplada al eje de un disco de cobre *D*,

que puede girar entre dos electroimanes *a* y *b*, el primero tiene su devanado *S* en serie, y el segundo en derivación; de modo que sus efectos inductivos sobre el disco de cobre sean opuestos a los producidos por el devanado *S*.

El disco *D*, oscilará en un sentido o en otro, según predomine la corriente que circula en serie o por la derivación y estará fijo cuando se haya establecido el equilibrio.

Como verán nuestros lectores, el regulador es un diminuto motor de inducción, con la diferencia de que el estátor tiene dos devanados que producen efectos contrarios.

En las lámparas alimentadas con corriente continua, el sistema regulador está constituido por un motorcito de continua; por su rotor circula la corriente que va a los carbones y por el estátor, la corriente derivada; su conjunto determinará un par motor variable con la intensidad de la corriente que circula por ambas partes.

El movimiento de los carbones se obtiene mediante un piñón y una cremallera.

**Lámparas de carbones convergentes.** — Hasta aquí hemos considerado los carbones verticales, disposición que facilita la de los órganos de regulación, que como hemos visto, tenían como único objeto mantener constante la longitud del arco, sea cual fuere el desgaste de los carbones. Al mismo tiempo, esta posición simétrica cuyo eje es el de los electrodos, obliga al arco a tomar una dirección axial, sin que el movimiento del aire, el ascenso de

los gases producidos, ni las acciones magnéticas produzcan cambio alguno de lugar del arco formado.

En las lámparas de carbones convergentes, el arco tiende a saltar entre las puntas de los carbones, que son los más próximos, cambiando de posición, según sea la forma de los electrodos. La corriente de aire ascendente arrastra al arco, que tien-

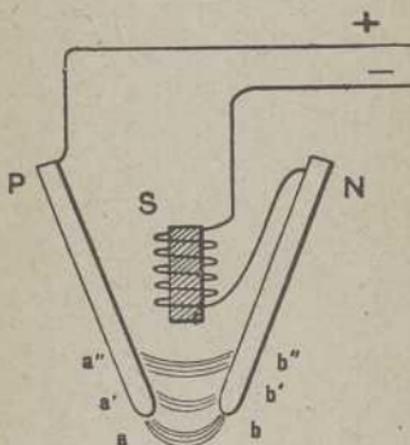


Fig. 35

de a formarse, no en la punta sino en el cuerpo de los carbones y aun cuando la acción magnética tiende a neutralizar este movimiento ascensional, por sí solo no es suficiente, por lo que es necesario *soplar* al arco por medio de un electroimán colocado entre los dos carbones.

Esquemáticamente, una lámpara de esta clase viene representada por los dos carbones *P*, *N* (figura 35), por los cuales circula la corriente. En la

abertura del ángulo que forman, está el electroimán *S*, cuyo devanado está conectado en serie con el circuito de los carbones.

Si no existiese el electroimán, al circular la corriente, el arco *a b* que aparece entre sus puntas tomaría un movimiento ascensional *a'b'*, *a''b''*, hasta que la longitud fuese tal que el arco desaparecería. De ocurrir esto, la lámpara funcionaría con intermitencias, siendo entonces inaplicables en la práctica. Con la adición del electroimán, el flujo magnético obra como soplador e impide el traslado del arco, por lo que éste subsiste indefinidamente.

Cuando los carbones son nuevos, la reparación de ellos es pequeña, por lo que la corriente es de gran intensidad y la acción del electroimán muy enérgica, por lo cual vemos que el arco toma la forma circular.

Conforme se desgastan los carbones, la longitud aumenta; pero como la intensidad de la corriente disminuye, la repulsión es menor y el arco toma menor curvatura, por lo que su longitud se mantiene sensiblemente constante.

Estas lámparas reúnen condiciones ventajosísimas, que han propagado rápidamente su uso. Tales ventajas pueden resumirse en éstas: los cráteres de los carbones quedan descubiertos, por lo que la luz emitida por ellos es utilizada; la posición de la llama por ser horizontal ilumina de preferencia los objetos emplazados en el suelo; y, finalmente, estando los puntos en ignición en su parte más baja, los electrodos son calentados de abajo a arriba, transmitiendo el color a toda su masa.

El ángulo que forman los carbones es sumamente variable, y aunque, en general oscila entre 25 y 30°, en ocasiones puede llegar a 90°.

Como regulación, pueden emplearse los tres métodos: del engranaje, del trinquete y del motor.

Entre las muchas lámparas de carbones convergentes, citaremos la de *Brenar*, que ha adoptado

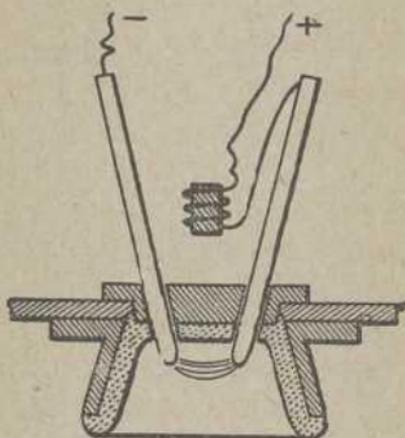


Fig. 36

esta posición para impedir que las escorias que se forman con las barras de carbón mineralizado cayesen sobre el cátodo y apagasen al arco. En su lámpara (fig. 36) los dos carbones pasan por orificios hechos en una pieza de porcelana que por su soporte metálico aguanta una campana de materias refractarias, dentro de la cual se forma el arco; mediante lo dicho se asegura una separación constante de los electrodos, y, por consiguiente, una longitud constante de arco, y segundo, se evita que los gases

producidos asciendan verticalmente y arrastren al arco.

La luz emitida por estas lámparas es máxima en dirección vertical, que es lo que interesa en la mayoría de los casos de iluminación de locales cerrados y talleres.

Con lo dicho damos por terminado nuestro estudio particular de la lámpara de arco voltaico y con ello podrán hacerse cargo nuestros lectores de cualquier modelo que se les presente a su consideración, modelos particulares que no hemos descrito, consecuentes en la idea de que un tratado de electricidad no ha de ser un catálogo de casas constructoras, y que, aun rebuscando los modelos de uso en un país serían insuficientes, dada la enorme zona de expansión de nuestras obritas.

## CAPÍTULO VIII

### LÁMPARAS DE VAPORES DE MERCURIO

La lámpara de vapores de mercurio, reducida a su más simple expresión, consta de un tubo de cristal *A* (fig. 37) cerrado por ambos extremos, del cual se ha extraído el aire, y se ha provisto de dos electrodos *a* y *b*, constituido el primero, que sirve de ánodo, por una placa de hierro, grafito o níquel, y su cátodo *b* por una corta cantidad de mercurio.

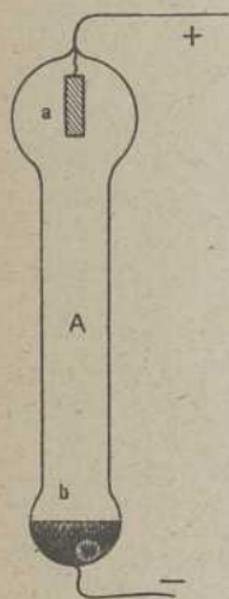


Fig. 37

Si tenemos la lámpara *cebada*, en cuanto la corriente circula a través de ella, vemos aparecer sobre el mercurio del cátodo, una mancha brillante, y luego una luz a manera de fuego fatuo, que gira vertiginosamente, penetrando algo en la masa del mercurio, constituyendo la *base del arco*, que luego se establece a lo largo del tubo. Este fuego fatuo, desagregando al mercurio, lo evapora en gran cantidad y los vapores ascienden hasta encontrar la cámara donde se encuentra el ánodo, que por estar fría, condensa

dichos vapores, que gota a gota, caen otra vez sobre el cátodo para volver a volatilizarse.

Lo fundamental del funcionamiento de la lámpara es el cebo de la misma, que permite la formación del fuego fatuo que, desagregando el mercurio del cátodo, produce la ionización del metal, anulando así la resistencia inicial; además, como el tubo tiene que presentar un punto constante de desagregación, se comprende que la corriente que debe alimentar estas lámparas, sea continua, ya que de invertirse la corriente, como el otro electrodo es de metal o carbón, su ionización es nula, por lo que cesaría de funcionar y obtendríamos alterancias en la luz emitida y, por lo tanto, ésta sería defectuosa.

Estas dificultades del empleo de las corrientes alternas para alimentar las lámparas de vapores de mercurio, han sido vencidas adoptando disposiciones especiales que permiten y aseguran una continua disgregación o ionización del mercurio, sea cual fuese la dirección de la corriente.

**Cebo.** — Al describir, en síntesis la lámpara de vapores de mercurio, hemos dicho que para que se pusiese en función, era necesario e indispensable que la lámpara estuviese *cebada*, pues para que dé luz no es suficiente que cerremos el interruptor. La corriente eléctrica que al hacer esto lancemos a través del tubo, para atravesar éste y poner luminosos los vapores que contiene, deberá vencer dos resistencias: la de la columna gaseosa contenida entre los electrodos, y la del cátodo, que ab-

sorbe casi la totalidad de la energía en el instante de ponerla en servicio. De estas dos resistencias la primera es tan lógica y natural, que no extraña a nadie, porque fué estudiada perfectamente ya antes de idearse estas lámparas, observándose la particularidad de que los vapores, más o menos enrarecidos, obran siempre como resistencias, excepto en determinado grado de enrarecimiento en que actúan como conductores. Este punto especial es el que sirve de base para las lámparas de mercurio y de gases enrarecidos que estudiaremos en el capítulo siguiente.

La otra resistencia citada, debida al cátodo, es tan característica, que en el lenguaje científico se la ha denominado *repugnancia del cátodo*, porque se opone a la entrada en el mismo de la corriente que por el ánodo atraviesa el gas contenido en el interior del tubo, pudiéndose comparar a la que ofrecería una capa de aceite que cubriese la superficie del mercurio del cátodo; para vencerla no hay más recurso que el *cebo* de la lámpara, operación que ha sido uno de los detalles más estudiados, con el objeto de que desagregando el cátodo, haga buenos conductores los gases enrarecidos contenidos en la lámpara.

Entre los muchos procedimientos que podemos describir, están los fundados en los cortacircuitos, cuya rotura produce una chispa eléctrica, iniciadora de la disgregación atómica. Los principales tipos son:

1.º *Por balanceo a mano o automático.* — El balanceo a mano se obtiene colocando la lám-

para, sujeta a un travesaño articulado, por su parte media a una varilla de sostén de la lámpara. Este tubo o lámpara se coloca de modo que quede algo desequilibrado, o sea, que la parte del ánodo pese más que la del cátodo (fig. 38). Tirando de la cadenilla, sujeta a la cámara catódica, haremos que ésta descienda, por lo que el mercurio contenido en el ánodo formará a lo largo del tubo un

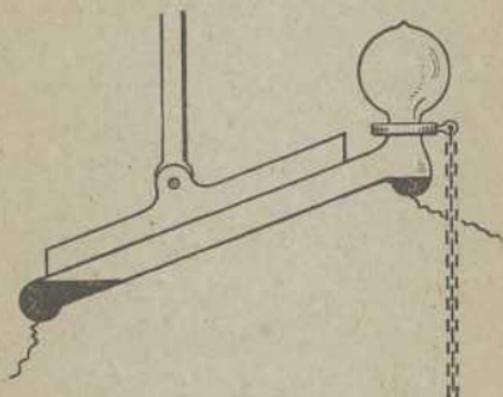


Fig. 38

hilo de su propia masa y este es el momento propicio para cerrar el circuito y lanzar una corriente a la lámpara.

Cuando la corriente circule, no encontrará dificultad alguna, pues el mercurio establecerá un corto circuito entre el ánodo y el cátodo. Si soltamos la cadenilla, oscilará la lámpara, descenderá el ánodo, y el hilo de mercurio se interrumpirá; al ocurrir esto, saltará una chispa eléctrica en el punto de rotura, que iniciará la ionización, quedando *cebada* la lámpara.

Esta manera de cebar, tan sencilla, ofrece, sin embargo, ciertos inconvenientes en la práctica, que han obligado a acudir al balanceo automático, a pesar de que las lámparas que lo utilizan son de coste más elevado.

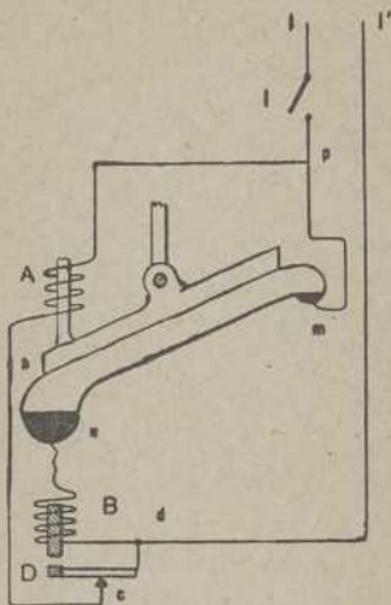


Fig. 39

**Balanceo automático.** — Es un método sumamente práctico, no sólo porque para producir la incandescencia de los vapores de mercurio basta cerrar el interruptor, sino porque si por una causa cualquiera se apagase la lámpara, reaparecería casi instantáneamente la luz sin intervención de persona alguna, verificándose esto de un modo perfectamente automático. Entre los muchos modelos que podríamos describir de balanceo automático, citaremos el de la figura 39, en la cual vemos que

el soporte *a* del tubo o lámpara, está articulado por la parte del cátodo con el núcleo de un electroimán *A*. El circuito de alimentación de la lámpara viene por el interruptor *I* que penetra en el ánodo *m*, sale por el cátodo *n*, forma el devanado de otro electroimán *B*, y termina en la línea por *l'*. El núcleo de este último electroimán puede atraer una placa de hierro que, aislada convenientemente, esté fija en el extremo de una palanca articulada, que constituye el interruptor de otro circuito derivado de la línea principal descrita. Este circuito derivado, se inicia en *p*, forma el devanado del electroimán *A* y por el punto de apoyo *c*, de la palanca *D*, cierra el circuito en *d*.

Al cerrar el interruptor *I*, la lámpara no está *cebada* y ofrece a la corriente una resistencia enorme; por lo cual, toda ella se deriva por *p A c d*; al pasar por *A* excita el electroimán, que atrayendo el núcleo, hace que la lámpara balancee estableciéndose a lo largo de ella un corto circuito de mercurio, por donde se lanza la corriente de preferencia al circuito derivado; al circular la corriente a través del mercurio de la lámpara, pasará por el devanado *B*, y atrayendo su núcleo, irá a la palanca *D*, romperá el circuito derivado, por lo que *A* dejará de atraer a su núcleo y la lámpara volverá a su posición inicial. Este cambio romperá el hilo de mercurio y producirá la chispa iniciadora del cebo, por lo que se formará la luz.

2.º *Por formación de arcos auxiliares.* — La producción de la chispa iniciadora del cebo de la lámpara, puede lograrse sin que ésta tenga que ser

sacudida, lo cual constituye una ventaja, pues se evita el golpe que el mercurio daba en el extremo anódico, al producirse el balanceo. Un modelo de los que han dado mejores resultados es el de *Weintraub*.

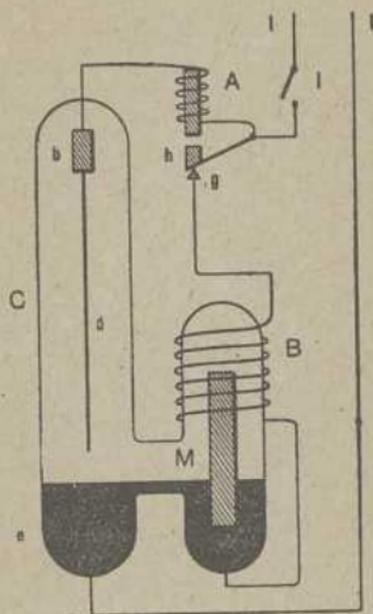


Fig. 40

Esta lámpara está formada por un tubo de cristal *C*, que lateralmente lleva un tubito auxiliar *B* (fig. 40). El electrodo positivo está constituido por una placa de grafito *b*, provista de un apéndice filiforme *d*, que termina a 3 ó 4 centímetros del mercurio *e* que llena el fondo del tubo, y del tubito auxiliar *B*. La cantidad del mercurio es tal que mediante el flotador *M*, el mercurio del tubo *C* se junta con el del tubo *B*, formando una sola masa.

Como elementos fundamentales para la operación de cebar, citaremos el electroimán *A*, cuyo núcleo atrayendo la palanca *h*, interrumpe un circuito secundario, y el devanado sobre el tubito auxiliar *B*, que en unión del flotador ya citado, constituye otro electroimán. Los electrodos de la lámpara son tres: dos positivos y uno negativo *e*.

Cerrando el interruptor *I*, la corriente no puede circular a través del tubo *C*, por lo que pasará por *g B*, y luego a través del mercurio, cerrando el circuito por *e*; cuando ocurre esto, el devanado *B* atrae el núcleo flotador *M*; el movimiento ascensional de esta pieza hará que descienda el nivel del mercurio; por lo cual, llegará un momento en que la masa de éste se dividirá en dos partes, una que ocupará el fondo del tubo *C*, y la otra el del tubo *B*; en el momento en que esto se verifique, saltará la chispa de cebo que ionizando el mercurio, hará buen conductor el tubo *C*. Por lo tanto, la corriente que entre por *I*, pasará por el electroimán *A*, y producirá la incandescencia de los gases del tubo. Ya en marcha la lámpara, el electroimán *A* atraerá la palanca *h*, que interrumpiendo el circuito derivado *g B*, ocasionará la caída del núcleo flotador, en virtud de lo cual, la lámpara estará en condiciones de cebarse de nuevo si la lámpara se apagase por cualquiera circunstancia.

3.º *Por agitación de la lámpara.*—Si en las lámparas disponemos el ánodo en forma tal que presente un apéndice que termine a poca distancia del cátodo (fig. 42), o bien, que tenga un ánodo auxiliar (fig. 41); para hacerlas funcionar, bas-

tará darles una sacudida pequeña, con lo cual el mercurio del fondo tocará el ánodo suplementario *a* (fig. 41), o bien, el apéndice *c* del ánodo (fig. 42); al verificarse este contacto, queda cerrado el circuito a través de la lámpara; dejándola quieta,

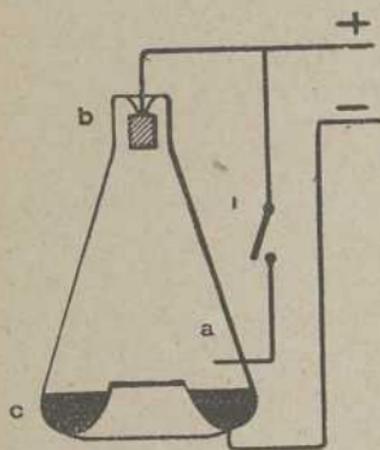


Fig. 41

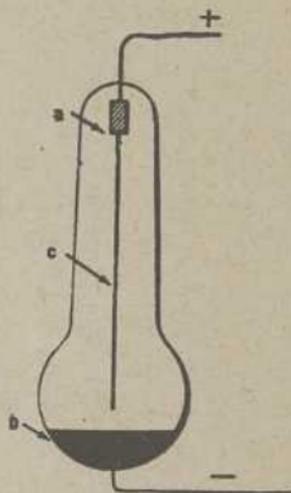


Fig. 42

el mercurio volverá al fondo, el circuito interior de la lámpara se romperá y, apareciendo la chispa de ruptura quedará cebada.

Este procedimiento no se emplea en las lámparas industriales. Por su gran sencillez de construcción y la facilidad de ponerlas en marcha (dándoles una sacudida), estas lámparas son de gran utilidad en los laboratorios de física, para efectuar experimentos de óptica, en los que precisa una luz monocromática intensa.

4.º *Otros sistemas.* — Finalmente, existen otros sistemas que por ser menos industriales no detallaremos, contentándonos sólo con enumerarlos; tales son el fundado en la *calefacción local del mercurio*, mediante la cual se volatiliza por la acción de la corriente eléctrica, una cantidad de mercurio suficiente para que un ánodo auxiliar quede separado

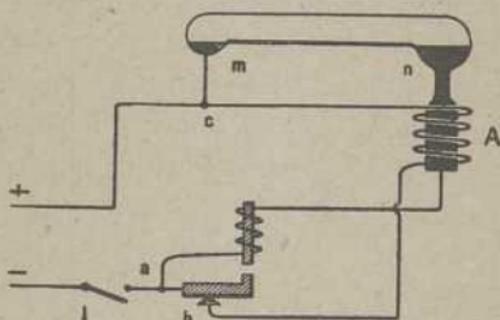


Fig. 43

del cátodo, y el fundado en la *dilatación del mercurio*, disponiéndose en las lámparas que se colocan horizontales, un depósito auxiliar de mercurio que puede ser el mismo cátodo; este depósito está envuelto por un hilo de platino, que forma parte de un circuito derivado. Al cerrar el interruptor (fig. 43) *I*, la corriente pasa por el circuito derivado *a b A c*; circulando por *A*, en virtud de la gran resistencia del carrete, calienta el mercurio contenido en la expansión de la cámara catódica; este calentamiento produce la dilatación del mercurio y, por lo tanto, éste se derrama a lo largo del tubo *mn* y forma el corto circuito. Al circular la corriente por

el interior de la lámpara, cesa la del circuito derivado a través de la resistencia *A*, por lo que se enfría el mercurio del cátodo, y contrayéndose el mercurio, se produce la chispa de ruptura que ceba la lámpara.

### Manera de cebar con corrientes de altas tensiones.

— A más de los procedimientos antes descritos para cebar la lámpara merced a la chispa de ruptura de circuito, pueden utilizarse otros procedimientos igualmente prácticos, sirviéndose de corrientes de alta tensión. Entre las varias disposiciones ideadas para obtenerlo, tomaremos dos como fundamentales.

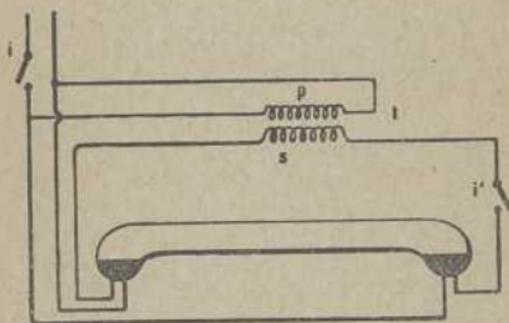


Fig. 44

**Por transformador auxiliar.** — En esta disposición la lámpara (fig. 44) se monta en el circuito principal del cual parte un derivado, que alimenta el devanado primario *p* de un pequeño transformador *t*, cuyo secundario *s*, se cierra a través de la lámpara y del interruptor *i'*. Cuando queramos que la lám-

para funcione, cerraremos los dos interruptores  $i$  e  $i'$ ; de este modo se produce en el secundario  $s$  una corriente de alta tensión, capaz de vencer cuantas resistencias oponga la lámpara, por lo que ésta se ionizará, produciéndose la luz; obtenida ésta, basta abrir el interruptor  $i'$  para que a través de la lámpara sólo circule la corriente de la línea, que es de baja tensión. El funcionamiento de  $i'$  puede lograrse automáticamente, mediante un electroimán análogamente a lo dicho en casos anteriores.

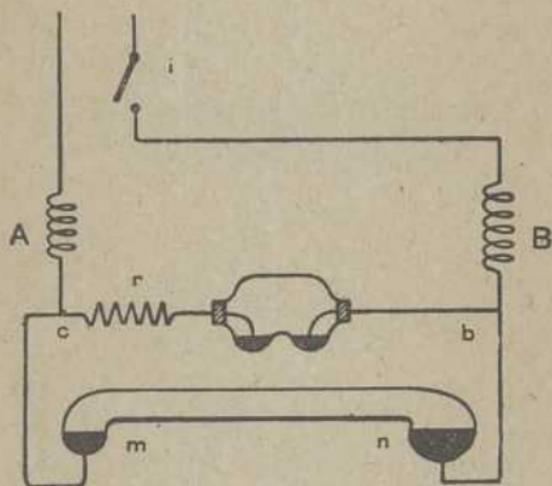


Fig. 45

**Manera de cebar con extracorrientes, producidas al romper un circuito provisto de carretes de autoinducción.** — Finalmente, para cebar las lámparas de mercurio, puede operarse disponiendo en el circuito (fig. 45) dos carretes de autoinducción  $A$ ,  $B$ ; la lámpara  $mn$  está en serie con el circuito, el cual

presenta un shunt  $cb$ , constituido por una resistencia óhmica  $r$  y por un interruptor especial, denominado *shifter* (1), interruptor que constituye la parte esencial del aparato. Consiste el *shifter* en un vaso cerrado, de vidrio, con una abolladura central (fig. 46), terminado en dos muñones  $p, p'$ , que sirven a la vez de contactos. De estos muñones parten dos hilos de platino  $e, e$  protegidos por dos tubitos

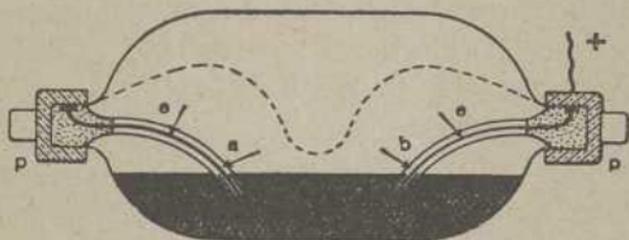


Fig. 46

de vidrio  $a, b$ , hilos cuyas puntas libres se sumergen en una masa de mercurio, contenido en el vaso o ampolla.

Cerrando el interruptor  $i$  (fig. 45), la corriente encuentra un circuito cerrado a través de la resistencia  $r$  y del shifter; pero si damos a éste media revolución, la abolladura, que hemos dicho que tenía el vaso de vidrio, dividirá el mercurio en dos partes, rompiendo el circuito, con lo que los carretes de autoinducción  $A, B$ , producirán una extracorrente de ruptura, que para su circulación, sólo podrá utilizar el gas contenido en el interior de la lám-

(1) Palabra inglesa que significa *tramoyista*.

para, puesto que la resistencia  $r$  impedirá que tenga lugar a través del circuito shunt. Al saltar la chispa de extracorriente a través de la lámpara, vencerá momentáneamente las resistencias de la misma; por consiguiente, aparecerá la luz, que iniciada subsistirá. El movimiento del *shifter*, que en el esquema lo hemos supuesto a mano, puede lograrse también automáticamente.

**Lámparas para corrientes alternas.** — Al principio de este capítulo, al establecer la teoría del funcionamiento de las lámparas de mercurio, hemos sentado como punto fundamental que, para que se produjese la incandescencia de los vapores de mercurio, era indispensable una desagregación molecular en el *cátodo*, lo cual exigía que la corriente fuese continua, ya que de invertirse la corriente la luz sería intermitente, a causa de que sólo se utilizaba la mitad de la onda, resultando perdida la otra mitad, correspondiente a la inversión de polaridad de la lámpara. Con objeto de evitar este inconveniente que se traduce en disminución del rendimiento económico de la lámpara, Weintraub ha ideado una disposición que permite utilizar las semiondas de la corriente, o sea, el empleo de las corrientes alternas, en buenas condiciones económicas. Tres son las partes que consideraremos: 1.º La lámpara propiamente dicha. 2.º La disposición para cebarla. 3.º Utilización de las dos semiondas de la corriente alterna.

La lámpara propiamente dicha consta de un tubo de cristal, en uno de cuyos extremos presenta una

bifurcación llena de mercurio; esta lámpara tiene dos ánodos *a* (fig. 47) y un solo cátodo *c*, que contiene el mercurio que se ha de ionizar.

La disposición para cebarla es independiente de la de alimentación, y está constituida por una batería de pilas *P*, cuyo circuito termina en el cátodo *c* de la lámpara y en el tubo lateral *S*; en este circuito hay un interruptor *i* y un carrete de autoinducción.

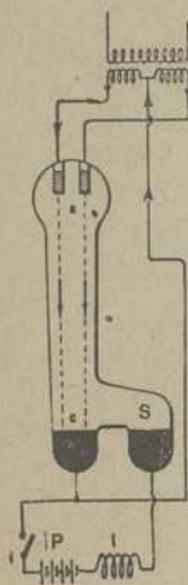


Fig. 47

La tercera parte, o sea, la referente a lo que permite utilizar la corriente alterna en su totalidad, está constituida por un transformador, cuyo primario está alimentado por la línea con corriente alterna y cuyo secundario consta de dos devanados, unidos en serie.

La conexión de los tres elementos distintos, antes citados, constituye la lámpara.

Para ponerla en marcha cerraremos el circuito de la pila *P*, y al circular la corriente, que será in-fluida por el carrete de self *l*, producirá la ionización de la lámpara; cebada ésta, funcionará un ánodo durante un semiperíodo y el otro durante el segundo semiperíodo, y como la corriente de cebo subsiste, la lámpara no produce fluctuaciones de luz, siempre que la frecuencia de la corriente que se utiliza no sea menor de 40 períodos por segundo.

**Ventajas e inconvenientes.** — El principal inconveniente que se atribuye a esta clase de lámparas es el color verdoso de la luz emitida, que modifica el color de los cuerpos, dando a las caras de las personas aspectos extraños y poco estéticos. Este inconveniente, debido a la carencia absoluta de radiaciones rojas, constituye por otra parte una de sus principales ventajas, ya que para la vista tanto las radiaciones rojas, como las anaranjadas, son desfavorables, así desde el punto de vista fisiológico, como psicológico. Otro inconveniente que por algunos se esgrime para oponerse al empleo de estas lámparas, se funda en que siendo tan rico el espectro en radiaciones ultravioletadas, contendrá gran cantidad de rayos X perjudiciales a la salud; este inconveniente queda subsanado empleando tubos de vidrio que sean opacos a los rayos ultravioletados.

En fin, el color suave y no irritable de su luz, de efectos bienhechores en los obreros, la facilidad con que éstos se habitúan rápidamente a la nueva coloración que toman los objetos, y el efecto que la luz verde ejerce en el sistema muscular, constituyen ventajas innegables que es imposible desvirtuar, sean cuales fueren las consideraciones que se hicieren.

**Modificaciones en la coloración.** — El raro aspecto dado a los objetos por la luz emitida por las lámparas de mercurio, ha sido causa de que no pudiesen recibir las aplicaciones que merecen, por lo que las casas constructoras han ensayado la

construcción de lámparas especiales, en las que su luz no tuviese el color verdoso que el público, en general, rechaza.

Los primeros ensayos se hicieron empleando ampollas o tubos de color rojo, o bien, incorporando a la pasta de vidrio sales halógenas de sodio, potasio o fluoruro de cal. En otros casos se corrige el defecto, recubriendo las lámparas con telas de colores fluorescentes, pero cuanto se haga en este sentido, téngase en cuenta que es una merma de un 25 % de su intensidad luminosa.

**Combinación de las lámparas de mercurio con las de incandescencia ordinaria.** — La única manera racional de modificar la luz verdosa y cadavérica de las lámparas de mercurio, es producir simultáneamente otra luz complementaria, a fin de que el conjunto de la luz blanca sea sin merma de la intensidad luminosa. Esto se logra mediante las lámparas *mixtas de incandescencia y de vapores de mercurio*, de las cuales citaremos dos como típicas: la Hopfeld (filamento de carbón y vapores de mercurio) y la Cristen (filamento metálico).

**Lámpara Hopfeld.** — Consta esta lámpara de un filamento de carbón *a*, alojado a lo largo de un tubo en U (fig. 48), que contiene en su parte inferior curva una gota de mercurio, y está lleno de un gas inerte, que antes de cerrar el tubo se enrarece hasta la presión de 1'5 mm. de mercurio. Al circular la corriente, el filamento de carbón se pone incandescente, desprendiendo gran cantidad de ca-

lor, que favorece la volatilización de la gota de mercurio; repartiéndose el calor uniformemente y evitando que el mercurio se condense en las partes más frías.

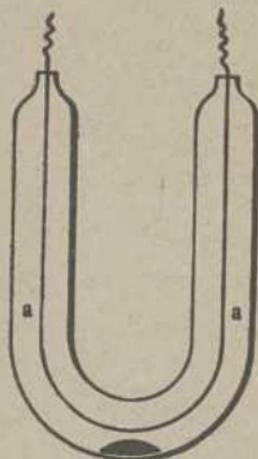


Fig. 40

Esta lámpara da una coloración blanca muy brillante; su consumo específico es de 1'65 vatios bujía, y la curva fotométrica nos indica que la luz se reparte uniformemente; para favorecer esto, se recubre el tubo en U con un globo, que lleva el casquillo de sujeción al portalámparas.

**Lámpara Cristen.** — Esta combinación de los filamentos metálicos con los vapores de mercurio constituye el distintivo general de las lámparas industriales de mercurio, de las cuales la Cristen puede tomarse como típica. Consta esta lámpara

de un tubo ordinario con su tubito lateral *C* (fig. 49) para cebarla. En el fondo del tubo hay una capa de mercurio, atravesada por dos tubos de pequeño diámetro de materia aislante, rellenos por el alambre que luego forma el solenoide o filamento *B*.

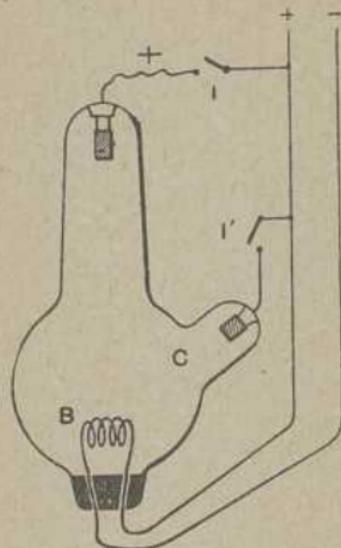


Fig. 49

Al cerrar los interruptores *I*, *I'*, circula la corriente por el filamento, a la par que del ánodo auxiliar *C* salta la chispa que produce la disgregación inicial del mercurio, y a partir de este instante, la luz emitida por la lámpara, es debida a la incandescencia del filamento y el arco que se establece a través de los vapores de mercurio. Cuando la lámpara funciona automáticamente, se abre el interruptor *I'*, para poner fuera de servicio el ánodo auxiliar.

## CAPÍTULO IX

### LÁMPARAS ELÉCTRICAS DE GASES ENRARECIDOS LUZ MOORE

Otro grupo importantísimo de lámparas eléctricas, lo forman aquellas en que se utiliza la propiedad que tienen los gases, convenientemente enrarecidos, de hacerse luminosos. Esta propiedad, estudiada desde hace muchos años por Geissler, no entró en el dominio industrial hasta 1882, en que Kennedy hizo su serie de experimentos, que en unión de los trabajos de Pooper-Hewit, formaron la base de los modernos tubos de *luz Moore*.

De todas las lámparas en que el efluvio eléctrico pone incandescente un gas enrarecido, la única que actualmente tiene aplicación es la de Moore; sin embargo, creemos necesario estudiar la de Kennedy y de Cooper-Hewit, pues ellas nos dan las fases de evolución por que han pasado hasta llegar al tipo usual.

**Lámparas Kennedy.** — Tres son los modelos ideados por este autor, los cuales se diferencian solamente en la forma o disposición de los electrodos.

El primitivo (fig. 50) estaba constituido por un globo esférico de cristal, de paredes delgadas, en cuyo interior había aire enrarecido, el cual llevaba en dos puntos diametralmente opuestos, los dos reóforos *a*, *b*, terminando el primero que sirve de cátodo, en una varilla y placa de carbón *c*, mientras el otro que sirve de ánodo, termina en una barrita o lápiz *d* del propio material. Uniendo los reóforos

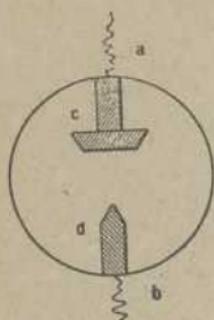


Fig. 50

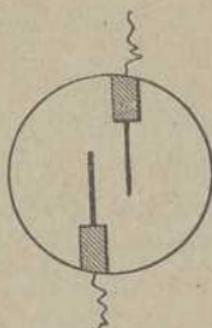


Fig. 51

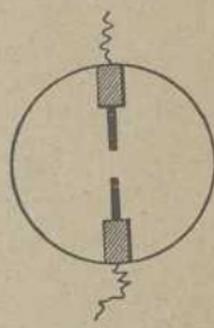


Fig. 52

*a* y *b* a un generador de corriente continua, si la tensión es suficiente, veremos aparecer la luz, debido sólo a que el carbón que sirve de polo negativo se pone incandescente, no interviniendo el aire enrarecido más que como envolvente para facilitar el enfriamiento de la lámpara.

Este primitivo tipo de lámpara fué luego modificado por el mismo Kennedy substituyendo las piezas de carbón por dos placas paralelas (fig. 51) de carbón, obtenidas carbonizando dos hojas de pergamino vegetal; a esta modificación siguió otra, que se diferencia de ella, en que las láminas de pergamino carbonizado, están situadas una en frente de la otra (fig. 52).

A pesar de las esperanzas que concibió su autor, la realidad demostró que por su mal rendimiento, por su funcionamiento irregular, por su luz deficiente y por su corta duración, eran impropias para el uso industrial y que sus interesantes trabajos más que de valor comercial, constituían un jalón de progreso, en el cual se fundamentarían otros estudios quizás más afortunados.

**Lámparas Cooper-Hewit.** — Al poco tiempo de haber terminado Kennedy sus estudios, Cooper-Hewit, los reanudó introduciendo ligeras modificaciones, que se referían a la clase de gas enrarecido contenido dentro de las ampollas. De sus trabajos han resultado dos clases de lámparas, aquellas en que el gas no es condensable, y segundo, aquellas en que está constituido por un vapor producido por evaporación de un líquido.

**Lámparas de gases permanentes.** — Dos son los modelos de lámparas de este tipo: El primitivo estaba constituido por una ampolla (fig. 53) de forma análoga a las lámparas actuales de incandescencia, aunque de dimensiones mucho mayores. En sus dos puntos más apartados, lleva dos manguitos de porcelana o materia aislante *m*, que sostienen los electrodos, el que sirve de ánodo es una barrita o cilindro de carbón, hierro o níquel, mientras el que sirve de cátodo está formado por un cilindro de carbón, terminado en una esfera, de *tierras raras*. Montada la lámpara, se llena de un gas

cualquiera, que luego se extrae a fin de enrarecerlo hasta una presión de 1 mm. de mercurio.

Construída así la lámpara bastará unirla por sus reóforos *m* a un generador de corriente continua, que tenga tensión suficiente para que produciendo-

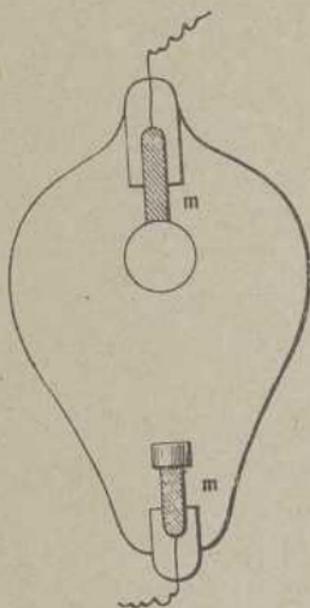


Fig. 53

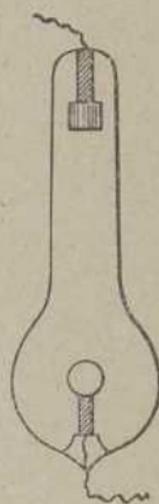


Fig. 54

se la incandescencia del cátodo, se produzca la luminiscencia deseada. Al industrializar este modelo su autor le dió la forma de la figura 54, en el cual tanto su ánodo como su cátodo, están formados por hierro u otro metal infusible e inatacable por el gas que llena la ampolla a la temperatura de funcionamiento.

**Lámpara Glimm.** — Modernamente Glimm ha construído una lámpara de gases permanentes, de igual fundamento que la anterior, especialmente destinada para anuncios luminosos. Los reóforos de esta lámpara, están formados de metal infusible e inatacable; el cátodo tiene la forma de una de las letras del alfabeto y el ánodo es un cilindro que, situado detrás del cátodo, queda tapado por la letra. Alimentada la lámpara con tensión continua suficiente, se produce la incandescencia del cátodo, que aparece con una fluorescencia de color rojizo, y su forma, de letra, se destaca perfectamente.

Combinando varias lámparas Glimm de letras distintas se forma un anuncio luminoso, con gran facilidad sobre los demás sistemas.

El casquillo de la lámpara Glimm es de rosca normal, que permite montarla en cualquier portalámpara, y su ampolla tiene la misma forma y dimensiones que las lámparas Nitra de 25 y 50 bujías; no difiere de éstas mas que en el filamento metálico reemplazado por los electrodos y tener el gas enrarecido.

También se construyen lámparas Glimm con electrodos en forma de casquetes esféricos, que pueden ser utilizadas con corriente alterna, obteniendo una luz muy tenue, apropiada para veladores y lámparas de señales.

El consumo de estas lámparas es solo de 4 vatios, de modo que puede decirse que prácticamente no consumen nada.

**Lámparas de vapores condensables.** — Constituyeron ellas el segundo tipo de lámparas ideados

por Cooper-Hewitt. Estas lámparas constan de dos ampollas *a*, *b* (fig. 55) unidas por un tubo *c*, la ampolla que forma el cátodo *a* de mayores dimensiones que la otra *b*, contiene el líquido cuyos va-

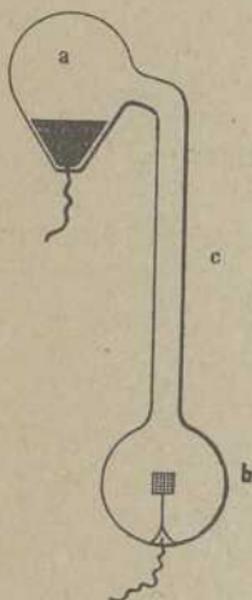


Fig. 55

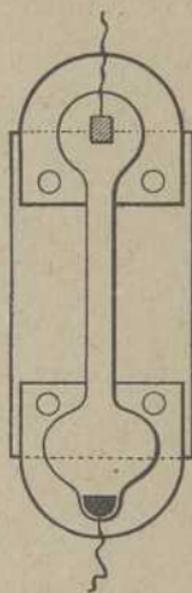


Fig. 56

pores han de llenar la cavidad de la lámpara, en la cual previamente se ha hecho el vacío, a fin de que la evaporación se produzca espontáneamente; de esta clase de lámparas las hay con la ampolla anódica en la parte inferior (fig. 56) y otras en que ocupa la parte superior. Como se produce un calentamiento excesivo, que modifica el funcionamiento de la lámpara, generalmente se envuelven por un tubo cilíndrico con orificios, que se obturan a vo-

luntad, los cuales permiten una circulación de aire, que al pasar rozando sobre la lámpara propiamente dicha, la enfría y permite obtener una temperatura constante, sea cual fuere la intensidad de la corriente empleada, y sea cual fuere el vapor contenido en su interior.

El mayor inconveniente de estas lámparas estriba en que exigiendo corriente continua a alto potencial (750 a 1000 voltios) es difícil de obtener bajo la forma de corriente continua.

**Lámparas de vapores salinos.** — Recientemente, Nernst ha patentado dos modelos de lámparas de vapores condensables, que al parecer han de señalar un notable progreso en las lámparas eléctricas, por lo que se refiere a su rendimiento.

En uno de los modelos se hace saltar el arco entre electrodos de carbón, en una atmósfera de cloruro o bromuro de cinc, produciéndose una fluorecencia análoga a la de las lámparas de vapor de mercurio. Cuando la presión del vapor de cloruro de cinc es muy débil, se produce una luz poco brillante; pero, a la presión atmosférica, la luz resulta muy brillante. Los mismos resultados se obtienen empleando cloruro de aluminio o de titanio. La sal se coloca en una pequeña cavidad de la base de la ampolla y su volatilización se consigue por medio de un manantial externo de calor, producido por una resistencia de encender, arrollada a la base de la ampolla. El rendimiento de esta lámpara es casi igual al de las lámparas de mercurio.

En el otro modelo, el medio conductor es una

mezcla de vapor de mercurio y vapores salinos, que al paso de la corriente produce una luz bastante blanca. El mercurio arrastra de una manera continua a la sal que contiene, y ésta se volatiliza para condensarse luego junto con el mercurio y repetir el ciclo de operaciones. Han dado buenos resultados las siguientes mezclas:

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Cloruro de cinc ..... | 70 % |
| » de calcio .....     | 15 % |
| » de talio.....       | 5 %  |
| » de litio .....      | 5 %  |
| » de cesio.....       | 5 %  |

Según el inventor, el consumo específico de esta lámpara es de 0'16 vatios por bujía Hefner, que representa un notable progreso sobre la lámpara Nitra, llamada de *medio vatio*.

**Luz Moore.** — Como consecuencia de los estudios y tentativas de Kennedy y Cooper-Hewit, Moore, insigne electricista americano, creó sus tubos luminiscentes, que reúnen verdaderas condiciones industriales, ya que ha vencido completamente los inconvenientes antes enumerados, reemplazando la corriente continua por la alterna, al mismo tiempo que logrando la luminiscencia del gas contenido en el interior de los tubos que constituyen la lámpara.

La lámpara Moore está constituida por un tubo de vidrio, de cuatro centímetros de diámetro y longitud variable, pudiendo alcanzar hasta sesenta metros, formado en este caso por soldadura de

trozos de 2'5 cada uno; la forma del tubo es indiferente, ya que lo mismo puede ser rectilíneo que curvilíneo, por lo que permite la iluminación de un local, amoldándose a las condiciones artísticas del mismo, lo que no ocurre con las demás lámparas descritas en capítulos anteriores.

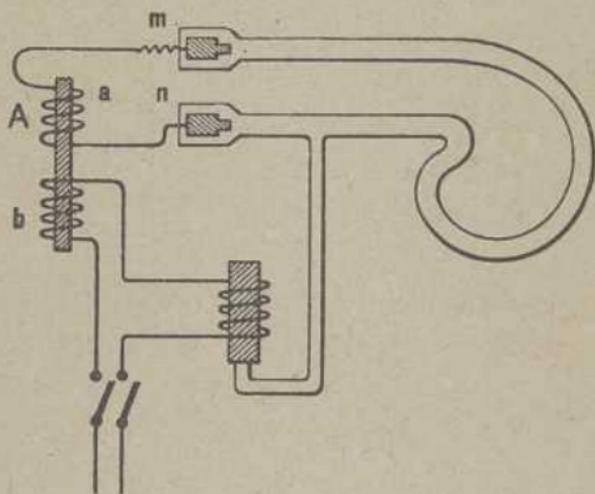


Fig. 57

Estos tubos de vidrio se sujetan por argollas de latón a pequeños aisladores de porcelana. Los extremos del tubo están cerrados herméticamente a la lámpara, y atravesados por dos reóforos *m*, *n* que terminan en dos placas de carbón. El tubo (fig. 57), luminiscente está alimentado por corriente alterna a alta tensión, variando ésta según sea la longitud del tubo instalado; esta corriente es producida en el secundario *a* de un pequeño transformador *A* cuyo primario está alimentado por la corriente in-

dustrial de las redes de distribución (generalmente a 220 voltios y 50 períodos). El principal inconveniente que presentaron estas lámparas al principio, fué la variación de resistencia que experimentan los tubos Moore, al cabo de cierto tiempo de funcionar, debido a un fenómeno de absorción, o mejor

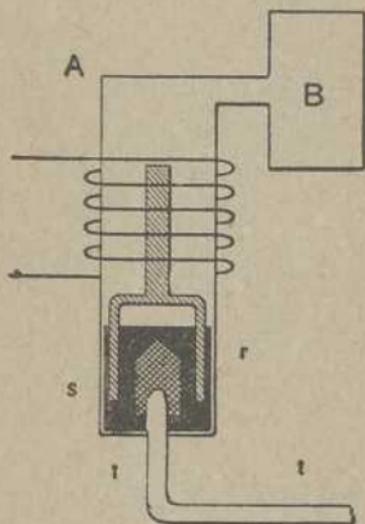


Fig. 58

de oclusión del gas contenido en el tubo por las paredes del mismo; esta oclusión aumenta el enraquecimiento del gas, y, por lo tanto, la resistencia de la lámpara, adquiriendo cualidades especiales que hacen a las lámparas *duras* como industrialmente se dice. Para evitar este inconveniente, Moore inventó una válvula reguladora de presión automática, consistente en un vaso de vidrio *A* (fig. 58), que comunica por la parte superior con el aire o con un

depósito que contiene gas igual al que contiene el tubo Moore, e inferiormente lleva una tubuladura *t* soldada a la lámpara o tubo; la abertura de esta tubuladora *t* está cerrada por un casquillo de carbón *s*, recubierto normalmente mediante una capa de mercurio. Sumergida en este líquido hay una campana *r*, sujeta al núcleo de un electroimán, cuyo solenoide está en serie con el circuito primario del transformador de tensión empleado para alimentar la lámpara.

En funcionamiento normal, el núcleo de *A* está caído, por lo que el mercurio recubre el casquillo de carbón *s*, e impide que el aire o gas contenido en el depósito *B* pase por los poros del carbón y penetre en la lámpara-tubo; al ponerse dura la lámpara el transformador alimentador, trabajará forzado, pues tiene que vencer mayor resistencia, por lo que su devanado primario deberá absorber mayor amperaje de la red; este mayor amperaje excitará al electroimán de la válvula reguladora, que, atrayendo el núcleo, sacará la campana *r* del mercurio; este descenderá de nivel y, quedando descubierta la punta del carbón *s*, permitirá que el gas del depósito *B*, pasando por los poros de *s*, penetre en los tubos, y por consiguiente, disminuya el grado de enrarecimiento y, por lo tanto, devuelva al tubo luminiscente sus condiciones de funcionamiento normales. Conseguido esto, el transformador vuelve a su trabajo normal y cesando la superexcitación del electroimán de la válvula reguladora, desciende el núcleo y el casquillo de carbón queda de nuevo cubierto por el mercurio del vaso.

Descrita la lámpara, falta estudiar la naturaleza de los gases empleados, la influencia del grado de vacío, las variaciones de tensión necesarias, atendiendo a la longitud del tubo, y el rendimiento.

**Naturaleza del gas empleado.** — En general, puede afirmarse que todos los gases son buenos para emplearlos enrarecidos en los tubos Moore, y a pesar de ello, sólo unos pocos han sido utilizados en la práctica.

Cuando se emplea el *aire*, se obtiene una coloración rosada; si es el *nitrógeno*, la coloración es amarilla, y si es *anhídrido carbónico*, la luz es análoga a la del día, por lo que este último es empleado en cuantas instalaciones se hagan en las cuales la visión del color real de las cosas sea de importancia; el *helio* y el *neón* dan asimismo coloraciones blancas; este último gas permite suprimir la válvula reguladora, pues la oclusión de que antes hemos hecho mención, no tiene lugar para él.

Como los gases más empleados son el aire, el nitrógeno y el anhídrido carbónico, será necesario indicar cómo tiene que operarse para que la válvula reponga el gas que desaparece por absorción.

Si es el *aire*, la válvula comunica directamente por su parte superior con el medio ambiente; en el caso de ser el gas *nitrógeno*, el depósito superior *B* contiene fósforo, que absorbe el oxígeno del aire al penetrar éste en el cuerpo de la válvula. Ahora bien, como el aire que ha de circular es en muy pequeña cantidad, tendremos que la carga de fós-

foro servirá durante muchos años; finalmente, si el gas enrarecido que llena el tubo es el anhídrido carbónico, el depósito de la válvula *B* contendrá trocitos de piedra mármol y un poco de ácido clorhídrico.

**Influencia del grado de vacío.** — Al describir la lámpara, ya hemos indicado que el grado de enra-

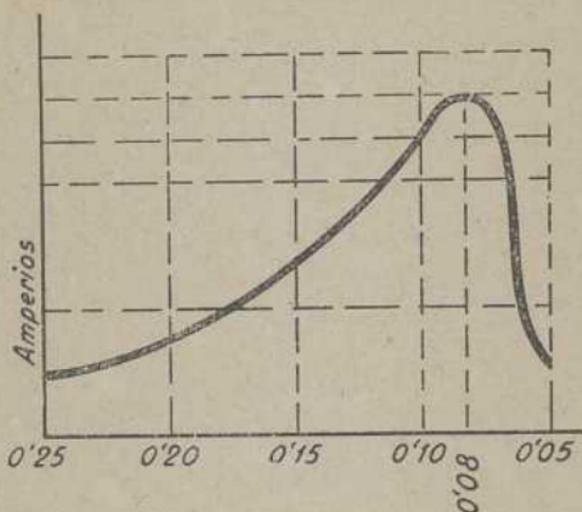


Fig. 59

recimiento, tenía gran influencia en la marcha normal del tubo luminiscente. Después de numerosos ensayos efectuados, se ha podido obtener gráficamente la relación que existe entre el grado de enrarecimiento o de vacío, y la resistencia de la lámpara, valor que puede medirse teniendo en cuenta la intensidad que por él circula; los resultados obtenidos son los de la figura 59, en la cual

puede observarse que la conductibilidad aumenta lentamente al ir aumentando el grado de vacío, hasta llegar a un máximo que corresponde a un vacío de 0'08 para luego descender rápidamente.

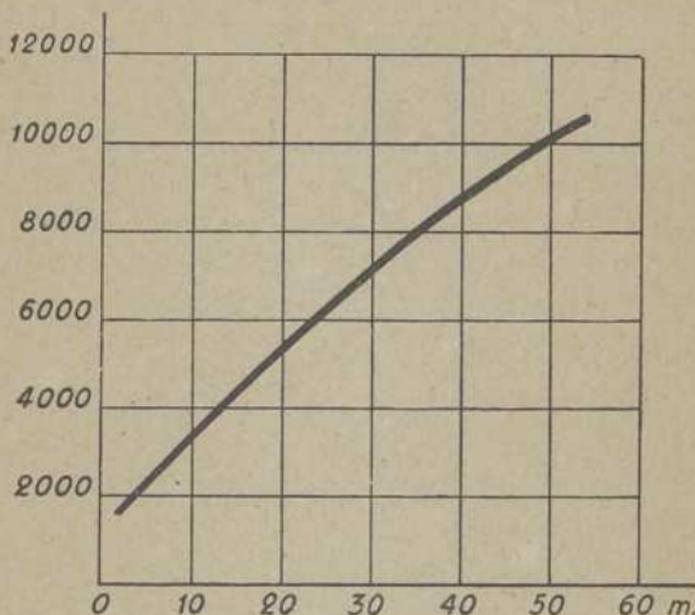


Fig. 60. — Relación entre el voltaje y la longitud de los tubos.

Como el máximo rendimiento lo lograremos en cuanto poseamos la máxima conductibilidad, tendríamos que disponer las lámparas para aquel grado de vacío, según el cual tendremos que regular el solenoide excitador de la válvula reguladora descrita antes; en la práctica se toma como enraecimiento normal, no el teórico, 0'08, antes dicho, sino un poco mayor, por ejemplo 0,10, a fin de tener en cuenta las variaciones que siempre se producen durante el funcionamiento del tubo.

**Variaciones de tensión.** — La tensión a que tienen que trabajar estas lámparas, dependerá, como es lógico, de la longitud del tubo luminoso, viniendo indicados los voltajes necesarios en el secundario del transformador por el diagrama de la figura 60.

**Rendimiento.** — Recibe el nombre de rendimiento la relación existente entre la potencia en vatios absorbida y el número de bujías producido. Como es lógico suponer, este rendimiento dependerá de la clase de gas contenido y de la longitud del tubo. En general, se admite un consumo de 1'5 vatios por bujía, en tubos de 12 metros de longitud, y de 2'5 vatios para longitudes de 63 metros.

**Intensidad luminosa.** — Como regla general podremos admitir que la intensidad media de los tubos Moore es de 40 bujías por metro de tubo. Sin embargo, se construyen tubos con intensidades distintas, que varían desde 20 a 100 bujías por metro lineal de tubo.

**Ventajas.** — Los tubos Moore ofrecen innegables ventajas, cuales son: 1.º, luz difusa, uniformemente repartida sin necesidad de globos ni pantallas. 2.º Color de la luz, el que se desee, pues varía con el gas empleado. 3.º Supresión de sombras en el local. 4.º Desarrollo de calor casi nulo, pues la temperatura de los tubos nunca excede de 40º centígrados. 5.º Baratura de instalación y, sobre todo, de entretenimiento y conservación, y 6.º Larga duración (2500 horas), lo que no se obtiene con ningún otro sistema de lámparas.

## CAPÍTULO X

### MEDICIÓN DE LA LUZ - UNIDADES Y DEFINICIONES

Obtenida ya la luz por las lámparas descritas, hemos dicho que antes de darlas al mercado, era indispensable comprobar si sus intensidades luminosas correspondían a la que el constructor cree que debe tener, con arreglo a la longitud y diámetro de su filamento. Esta medición, sumamente fácil e interesantísima, se ejecuta en los laboratorios de ensayo, que cada fábrica suele y debe tener, sirviendo de comparación otra luz que se toma como unidad o patrón.

Puesto que según la procedencia de la lámpara, ésta puede venir marcada con intensidades luminosas diferentes, vamos a dar ligera idea de las que todavía están en uso en ciertos países.

**Unidades de luz.** — Las principales son:

*Cárcel.* — Que es la intensidad luminosa desprendida por una lámpara *Cárcel*, que quema aceite de colza. Para poder construir una lámpara de esta especie, la mecha deberá estar formada por 75 hilos, y pesar 3'6 gramos por decímetro de longitud. Debe colocarse la mecha de modo que salga fuera

del depósito un centímetro, la llama debe tener cuatro centímetros y deben consumirse 42 gramos de aceite por hora. Si se consume mas, la intensidad será mayor y valdrá

$$\text{Intensidad luminosa} = \frac{\text{peso del aceite quemado}}{42}$$

*Hejner.* — Es muy empleada esta unidad en Alemania, y consiste en una lámpara de mecha que quema *acetato de amilo* compuesto de composición constante y que puede obtenerse exento de impurezas; las condiciones que deben reunirse, son: mecha que sale por una corona de mélichor, cuyos diámetros exterior e interior son 8'5 y 8 milímetros; la mecha debe salir 25 milímetros; llama de cuatro centímetros.

*Vernon-Harcourt.* — Es usada esta unidad en Inglaterra, viniendo determinada por un mechero que quema vapores de pentano extraído de la destilación de los petróleos.

Esta unidad es muy variable, pues el pentano presenta cierta complejidad en su composición, que influye en la intensidad luminosa que produce al quemarse.

*Candel.* — Es la unidad americana, definida por la luz que emite una bujía de esperma de ballena de 75'5 gramos de peso, cuando se quema produciendo una llama de 45'5 milímetros de altura y consume 7'76 de su peso en una hora.

Esta anomalía no vista en ninguna otra clase de energías, de que cada país tuviese una unidad com-

pletamente distinta, indujo a la *Conferencia internacional de Electricistas*, celebrada en 1884, a establecer una unidad internacional que se denominó el *Violle*.

*Violle*, o unidad internacional, se define diciendo que es la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino en su punto o temperatura de solidificación. Este instante es difícil de realizar, por lo que las casas constructoras, teniendo en cuenta que la temperatura de fusión es la misma de solidificación, han reemplazado industrialmente la primera idea y la han substituído por la luz que emite un hilo de platino de dimensiones determinadas cuando se funde.

El detalle de los aparatos con que la casa Siemens ha hecho práctica esta unidad, cae fuera de los límites de esta obrita, puesto que aquéllos pueden ser considerados como de precisión.

*Bujía decimal*. — Atendiendo a que el *Violle* es una gran intensidad, ha precisado tener otra que fuese divisor de la fundamental; se obtuvo el *pyr* o *bujía decimal*, que equivale a un veinteavo del *Violle*.

**Relación entre estas diferentes unidades.** — Siendo prácticamente la unidad empleada la *bujía decimal*, es lógico que en determinadas circunstancias, precise establecer su comparación con las ya en desuso, o bien, de éstas entre sí. El adjunto cuadro da estas relaciones:

| Unidades                                 | Bujía<br>Hefner | Bujía<br>alemana | Bujía<br>inglesa | Lámpara<br>de pentano<br>de 1 bujía | Lámpara<br>de pentano<br>de 10 bujías | Cárcel | Bujía<br>decimal |
|--|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|------------------|
| Bujía Hefner.....                        | 1               | 0,833            | 0,877            | 0,855                               | 0,088                                 | 0,092  | 0,855            |
| " alemana ....                           | 1,20            | 1,—              | 1,05             | 1,03                                | 0,105                                 | 0,110  | 1,047            |
| " inglesa.....                           | 1,14            | 0,950            | 1,—              | 0,97                                | 0,100                                 | 0,105  | 0,997            |
| Lámpara de pentano<br>de 1 bujía.....    | 1,17            | 0,970            | 1,03             | 1,—                                 | 0,103                                 | 0,107  | 1,016            |
| Lámpara de pentano<br>de 10 bujías. .... | 11,40           | 9,500            | 10,—             | 9,80                                | 1,—                                   | 1,050  | 9,970            |
| Cárcel .....                             | 10,87           | 9,050            | 9,53             | 9,29                                | 0,950                                 | 1,—    | 0,892            |
| Bujía decimal.....                       | 1,13            | 0,955            | 1,003            | 0,984                               | 0,1003                                | 0,104  | 1,—              |

Tabla de facilísimo manejo y que puede ser de gran utilidad en diversas ocasiones.

Al verificar las mediciones de la luz emitida por una lámpara, es preciso tener en cuenta, no su valor total, sino un conjunto de factores que lo integran, como son la *intensidad luminosa*, el *brillo*, el *flujo luminoso*, su *poder iluminante* y la *iluminación total producida*, magnitudes cuyas causas productoras es preciso definir y estudiar.

**Intensidad luminosa.** — Es lo que generalmente se mide en los laboratorios, mediante aparatos especiales, denominados fotómetros. Si el foco luminoso fuese un punto, la intensidad luminosa sería uniforme, para puntos situados en una superficie esférica con el centro en el foco; pero como en la práctica no ocurre así, y como cada punto luminoso de la lámpara viene a constituir un foco independiente de los demás, se tendrá, que las intensidades luminosas emitidas por una misma lámpara

serán distintas según la dirección del rayo que se considere. Midiendo éstas en varias direcciones, puede determinarse la *media* aritmética que recibe el nombre de *intensidad luminosa media*, la cual a su vez puede ser considerada como resultante de los rayos que vengan de un mismo plano horizontal (*media horizontal*) o de todos los rayos emitidos en todas direcciones (*media esférica*).

Como los industriales adoptan en sus indicaciones la intensidad media horizontal, en el plano que pasa por el centro del bucle del filamento, es preciso conocer la relación que existe entre ella y la media esférica, relación que prácticamente se toma igual a 1'25, por consiguiente:

$$\text{Media esférica} = \frac{\text{media horizontal}}{1'25} = \text{media horizontal} \times 0'8$$

Esta relación se ha denominado *factor de conversión*.

Las causas que modifican la intensidad luminosa de una lámpara son muchas; pero de un modo especial influyen los *reflectores*: se llaman así superficies pulimentadas que reflejan la luz dirigiéndola hacia determinadas direcciones, este cambio permitirá reunir en superficies dadas todos los rayos luminosos que emergen del foco. La forma de los reflectores es tan variada que es imposible dar valores prácticos del aumento de intensidad que se produce; por lo cual, nos concretaremos a un caso particular de reflector o pantalla cónica de 34 centímetros de diámetro y de ángulo en el vértice de 140 grados.

|                                      |      |       |
|--------------------------------------|------|-------|
| Lámpara sin reflector .....          | 40'1 | bujas |
| » con reflector de vidrio ordi-      |      |       |
| nario .....                          | 42'7 | »     |
| Lámpara { interiormente mate .....   | 41'2 | »     |
| con reflec { interiormente esmaltado |      |       |
| tor de vi- { blanco .....            | 50'4 | »     |
| drio { exterior mate .....           | 44'— | »     |
| { exterior esmaltado blanco.         | 49'3 | »     |

**Brillo.** — Como la luz emitida la medimos independientemente de la superficie del cuerpo que la produce, ha sido preciso buscar la relación entre ambas, que ha recibido el nombre de *brillo*. La unidad práctica es la *bujía centímetro*, o sea, la luz de una bujía decimal, cuando la superficie del foco iluminante es un centímetro cuadrado.

El brillo es una cualidad de las lámparas, que varía constantemente ya que en él influye la temperatura, aumentando aquél al aumentar ésta.

En algunas ocasiones, el brillo de una lámpara es una mala cualidad, pues la gran cantidad de luz emitida puede ser perjudicial (por ejemplo, el cráter del arco voltaico tiene de brillo 20000 bujías) siendo imposible mirarlo ni a través de un cristal ahumado, por lo que se ha buscado la manera de disminuir el brillo de los focos, sin merma de la cantidad de luz emitida. Las disposiciones empleadas son simples reflectores que reciben la luz emitida y la cambian de dirección impidiendo que lleguen directamente a nuestra vista; la luz así obtenida se llama *luz difusa*, utilísimas para la iluminación de locales,

**Flujo luminoso.** — Se llama *flujo luminoso* la cantidad de rayos luminosos contenidos en un ángulo sólido, cuyo vértice es el foco luminoso.

La unidad práctica es el *lumen*, que se define por la luz que manda un foco de una bujía sobre un metro cuadrado de superficie de una esfera de un metro de radio.

**Poder iluminante.** — Es uno de los datos más importantes al tratar de un problema de iluminación; esta magnitud se define, diciendo que es la cantidad de luz que recibe la superficie de un metro cuadrado, de un foco luminoso; la intensidad es la *bujía metro* o *lux*, que equivale a la iluminación que produce una bujía sobre un metro cuadrado colocado a la distancia de un metro lineal.

**Iluminación producida total.** — Para poder comparar los diferentes focos luminosos, no basta conocer la luz que da en un instante determinado, sino la totalidad que puede dar durante su vida. La unidad adoptada en este caso es la *bujía hora* o el *lumen hora*. Mediante esta nueva magnitud es posible establecer ciertas comparaciones muy importantes en la práctica. Así con el consumo de energía de 1 kilovatio hora, se obtienen:

|                                   |     |             |
|-----------------------------------|-----|-------------|
| Lámpara filamento de carbón ..    | 330 | bujías hora |
| »           »       de tántalo .. | 500 | »           |
| »       Nernst.....               | 500 | »           |
| »       de arco con corriente     |     |             |
| alterna.....                      | 800 | »           |

|  |      |             |
|--|------|-------------|
| Lámpara de tungsteno .....                     | 1000 | bujías hora |
| » de arco con corriente<br>continua.....       | 1000 | »           |
| Lámpara de vapores de mercurio                 | 1600 | »           |
| » de carbones minerali-<br>zados (llama) ..... | 2000 | »           |

**Rendimiento.** — Otro punto importantísimo es el rendimiento de las lámparas, que puede ser *luminoso* o *comercial*.

El *rendimiento luminoso* es la relación que existe entre la energía emitida en forma de radiaciones visibles y la energía consumida por la lámpara, o bien, la relación entre la *radiación visible* y la *total*.

La determinación del rendimiento luminoso es una operación sumamente delicada por lo que nos concretaremos a dar los resultados prácticos obtenidos por estos benedictinos de la ciencia, que, encerrados en sus laboratorios laboran por el progreso de la ciencia y de la industria.

| Clase de lámparas    | Corriente consumida |          |         | Potencia luminosa media en vatios | Rendimiento luminoso por % |
|----------------------|---------------------|----------|---------|-----------------------------------|----------------------------|
|                      | Vatios              | Amperios | Voltios |                                   |                            |
| Filamento de tántalo | 115                 | 0,40     | 46,—    | 1,012                             | 2,20                       |
| » osmio . . . .      | 65                  | 0,56     | 36,4    | 0,837                             | 2,30                       |
| » osram. . . . .     | 115                 | 0,40     | 46,—    | 1,132                             | 2,46                       |
| » carbono ..         | 115                 | 0,90     | 103,5   | 0,631                             | 0,61                       |

Lo que nos dice que los rendimientos luminosos

que hasta hoy hemos podido obtener, apenas llegan al 2'46 % como máximo de la energía consumida.

**Rendimiento económico o comercial.** — Es la relación entre el número de bujías y el número de vatios absorbidos, o bien, el número de bujías que da un vatio consumido. La inversa de este rendimiento se ha denominado *consumo específico*, que se hallará dividiendo los vatios consumidos por el número de bujías producidas. Este último concepto es de grandísima utilidad en la práctica, pues nos da cuenta de las condiciones de su funcionamiento.

**Medida de la intensidad luminosa.** — Se llama fotometría la parte de la física que tiene por objeto medir la intensidad luminosa de un foco, y los aparatos de que se hace uso se denominan *fotómetros*.

Los fotómetros son aparatos que nos miden estas intensidades por comparación con otro foco que supondremos conocido, y están fundados en la ley de los cuadrados de las distancias. Es decir, si un mismo objeto recibe idéntica luz de dos focos luminosos  $A, A_1$  situados a las distancias  $d, d_1$ , se tendrá

$$\frac{A}{A_1} = \frac{d^2}{d_1^2}$$

proporción que nos permitirá calcular uno de los cuatro valores, cuando se conozcan los otros tres.

Al verificar ensayos fotométricos, procuraremos

que la superficie que iluminemos solamente reciba luz de los focos; que la habitación esté obscura, si es posible, pintada de negro mate, y que el local sea capaz si la luz patrón es de combustión. Además, cuando la lámpara que se ensaya es muy desigual con respecto a la que sirve de patrón, efectuaremos dos ensayos, mediante una lámpara intermedia.

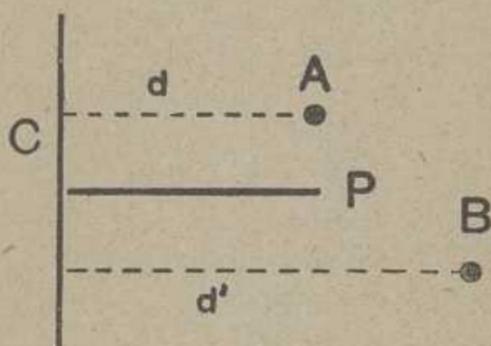


Fig. 61

Los principales fotómetros son el de *Foucault*, que consiste en un cristal esmerilado *C*, a un lado del cual se coloca el foco patrón *A* (fig. 61) y la lámpara que vamos a examinar *B*, focos que se separan mediante una pantalla *P*, que divide el cristal *C* en dos partes, iluminadas cada una por su lámpara. El operador colocado al otro lado de las lámparas, observará la iluminación que recibe el cristal, y modificando la posición de una de ellas, generalmente de la que se ensaya, procurará lograr el mismo tono de iluminación en el cristal; obtenido esto, medirá las distancias de cada foco luminoso a la

placa *C*, y aplicando la proporción anterior, obtendremos la intensidad deseada.

**Bunsen.** — Es muy usado por la facilidad de manipulación; se funda en que si tenemos una hoja de papel con una mancha de aceite, ésta será visible si la hoja está desigualmente iluminada por ambas caras, pero si logramos esta igualdad, desaparecerá la mancha de nuestra vista. El aparato

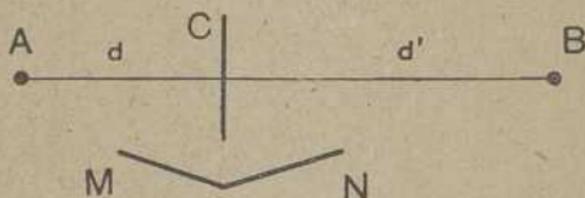


Fig. 62

será, pues, bien sencillo, porque sólo comprenderá un marco, para colocar el papel manchado. En la práctica, para facilitar la operación de observar ambas caras a la vez, se colocan junto a la pantalla de papel dos espejos formando ángulo *M*, *N* (fig. 62) Este aparato exige mucha práctica, requiere un ojo ejercitado.

**Fotómetro Lummer y Brodhun.** — Es mucho más sensible que los anteriores y consiste en dos prismas de reflexión total; el *P'* (fig. 63) tiene una de sus caras esférica, con una faceta plana que se junta a la cara hipotenusa del prisma *P*.

Una pantalla  $C$ , separa los dos focos luminosos. Los rayos que proceden del foco  $A$ , son reflejados por  $C$  al espejo  $M$ , y de éste al prisma  $P$ , en el cual por refractarse totalmente la luz, es ésta dirigida al tubo analizador  $E$ ; el otro foco  $B$ , ve su luz reflejada en el espejo  $M'$ , y de éste va al prisma  $P'$ , que lo conduce al analizador.

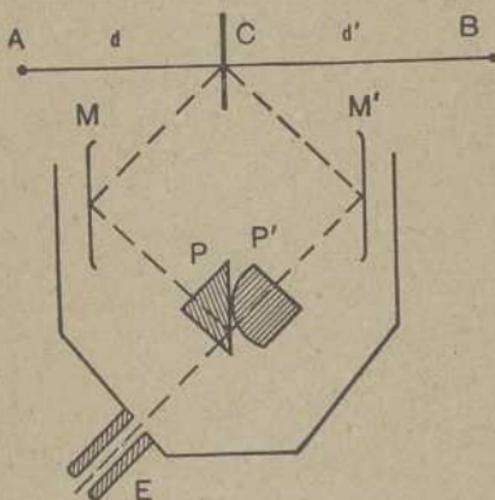


Fig. 63

En este se recibirán ambos rayos luminosos, si uno predomina sobre el otro se verá por el analizador una mancha elíptica, y variando las distancias de estos focos, lograremos que desaparezca; en este instante mediremos las distancias y formaremos proporción.

Al verificar estos ensayos, si se quiere dar resultados completos, será preciso medir la intensidad

luminosa colocando la lámpara en determinadas posiciones, pues ya sabemos que la intensidad varía con la situación del rayo y con la inclinación con el horizonte. Cuando se quieren medir estas intensidades en planos determinados, dispondremos que la lámpara que se esté estudiando ilumine un espejo negro y que éste refleje la luz a la pantalla del fotómetro. Variando la posición del espejo, tendremos que éste reflejará uno solo de los que emergen del foco. La distancia que se tendrá que medir será todo el recorrido de la luz desde el foco a la pantalla del aparato.

---

# INDICE

---

|  | <u>Páginas</u> |
|--|----------------|
| Generalidades acerca de la luz .....                   | 5              |
| CAPÍTULO I.  |                |
| Lámparas de incandescencia. — Filamento de carbón..... | 8              |
| Partes esenciales de las lámparas .....                | 10             |
| Filamento.....   | 10             |
| Amp lla .....  | 12             |
| Casquillo .....  | 12             |
| Hilos de enlace.....                                   | 13             |
| Fabricación de lámparas de filamento de carbón .....   | 13             |
| Preparación del filamento .....                        | 14             |
| Preparación de la pasta y moldeado .....               | 14             |
| Moldeado .....   | 15             |
| Carbonización .....                                    | 16             |
| Refuerzo o carburación.....                            | 17             |
| Recocido .....   | 18             |
| Montaje del filamento .....                            | 18             |
| Fijación del filamento a la ampolla .....              | 19             |
| Formación del vacío.....                               | 19             |
| Trompas .....  | 18             |
| Bombas .....   | 25             |
| Bomba Reden .....                                      | 26             |
| Bomba Gaede .....                                      | 26             |
| Terminación .....                                      | 29             |
| Ensayo de las lámparas .....                           | 27             |

## CAPÍTULO II.

|  |    |
|--|----|
| Características de las lámparas de filamento de carbón ..... | 31 |
| Calor desprendido .....                                      | 31 |
| Intensidad luminosa .....                                    | 31 |
| Duración de las lámparas .....                               | 34 |
| Consumo de energía .....                                     | 35 |

## CAPÍTULO III.

|   |    |
|---|----|
| Lámparas de incandescencia. — Filamento metálico .....  | 40 |
| Filamento .....   | 41 |
| Preparación del filamento .....   | 42 |
| Filamentos de tungsteno .....   | 45 |
| Filamento de osmio .....  | 48 |
| Filamentos de aleaciones metálicas .....  | 49 |
| Osmio-tungsteno .....   | 49 |
| Tungsteno-tántalo .....   | 50 |
| Montaje de la lámpara .....   | 53 |
| Lámparas de tungsteno con atmósfera de gas. Disposición del filamento y forma de la ampolla ..... | 53 |
| lla .....   | 55 |

## CAPÍTULO IV.

|  |    |
|--|----|
| Lámparas de filamentos minerales ..... | 57 |
| Lámpara Nernst .....                   | 57 |
| Organos de la lámpara .....            | 59 |

## CAPÍTULO V.

|  |    |
|--|----|
| Lámparas de arco voltaico. — Su teoría ....                                      | 63 |
| Coloración del arco .....  | 67 |
| Temperatura del arco .....   | 60 |
| Clasificación de los arcos voltaicos .....                                       | 69 |
| Arco con electrodos metálicos .....  | 70 |
| Intensidad luminosa del arco voltaico .....                                      | 71 |
| Diámetro de los carbones .....   | 72 |
| Influencia de la colocación de los electrodos. Influencia de la intensidad ..... | 73 |
| Influencia del voltaje .....   | 74 |
| Influencia de la clase de corriente .....  | 75 |
| Influencia de la clase de corriente .....  | 76 |

|  |    |
|--|----|
| Influencia de la naturaleza del medio gaseoso<br>en que se produce el arco ..... | 76 |
| Consumo específico de los diferentes arcos...                                    | 77 |

## CAPÍTULO VI.

|   |    |
|---|----|
| Lámparas de arco. — Constitución de los<br>electrodos ..... | 78 |
| Electrodos de carbón homogéneos .....                       | 78 |
| Cilindrado de la pasta .....                                | 82 |
| Cocción y terminación .....                                 | 84 |
| Electrodos de carbón con mecha .....                        | 84 |
| Fabricación .....   | 86 |
| Electrodos metálicos .....                                  | 87 |
| Electrodos mixtos .....                                     | 88 |
| Primer grupo .....  | 88 |
| Segundo grupo .....   | 89 |
| Tercer grupo .....  | 90 |

## CAPÍTULO VII.

|  |     |
|--|-----|
| Tipos industriales de lámparas de arco vol-<br>taico ..... | 92  |
| Lámparas con carbones verticales .....                     | 92  |
| Regulación en serie .....                                  | 93  |
| Reguladores en derivación .....                            | 96  |
| Reguladores diferenciales .....                            | 100 |
| Lámparas de carbones convergentes .....                    | 105 |

## CAPÍTULO VIII.

|   |     |
|---|-----|
| Lámparas de vapores de mercurio .....   | 110 |
| Cebo .....  | 111 |
| Balanceo a mano .....   | 112 |
| Balanceo automático .....   | 114 |
| Manera de cebar con corrientes de alta tensión.<br>Por transformador auxiliar .....   | 120 |
| Manera de cebar con extracorrientes, produ-<br>cidas al romper un circuito provisto de ca-<br>rretes de autoinducción ..... | 121 |
| Lámparas para corrientes alternas .....   | 123 |
| Ventajas e inconvenientes .....   | 125 |
| Modificación de la coloración .....   | 125 |

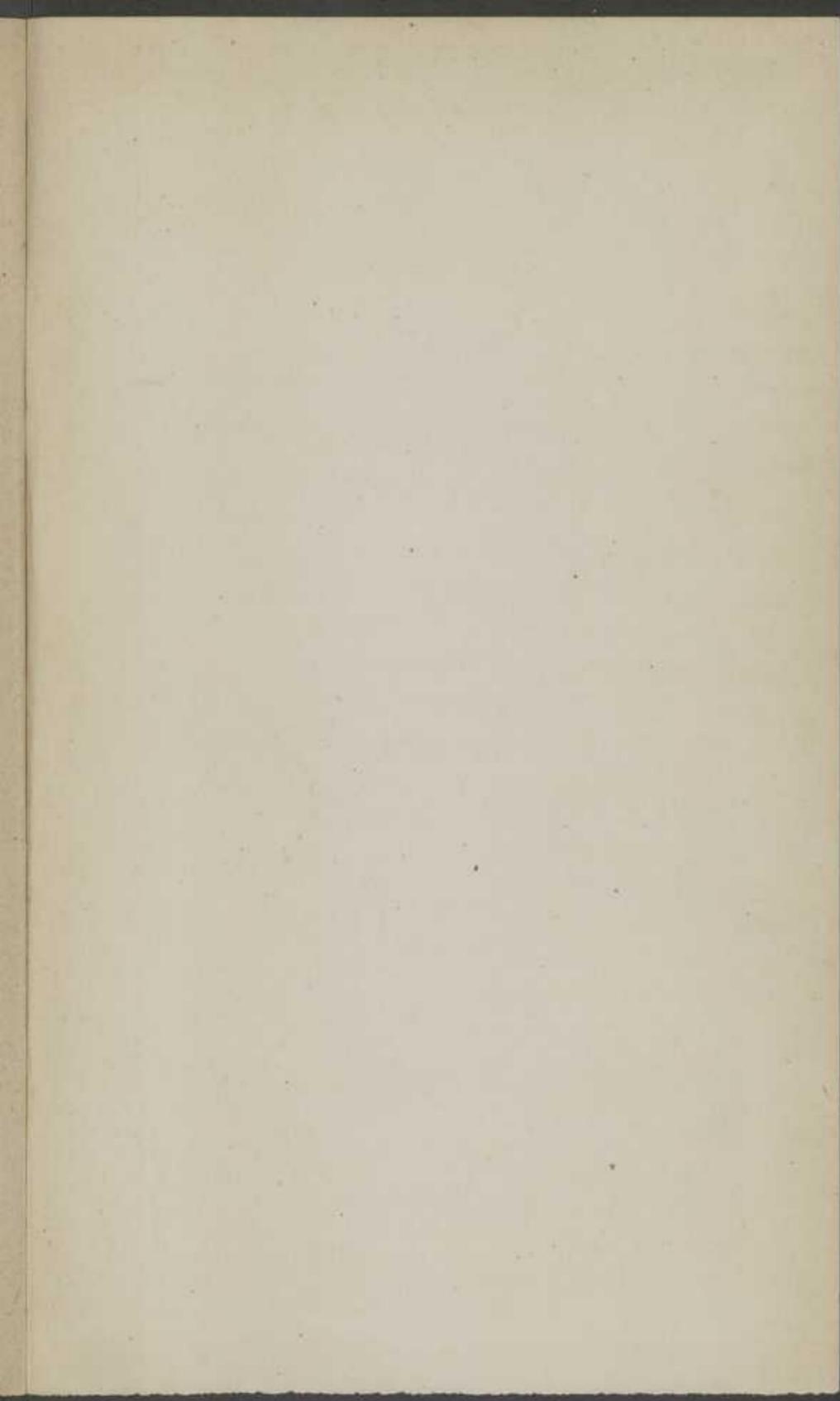
|  |     |
|--|-----|
| Combinación de las lámparas de mercurio con las de incandescencia ordinaria..... | 126 |
| Lámpara Hopfeld.....   | 126 |
| Lámpara Cristen.....   | 127 |

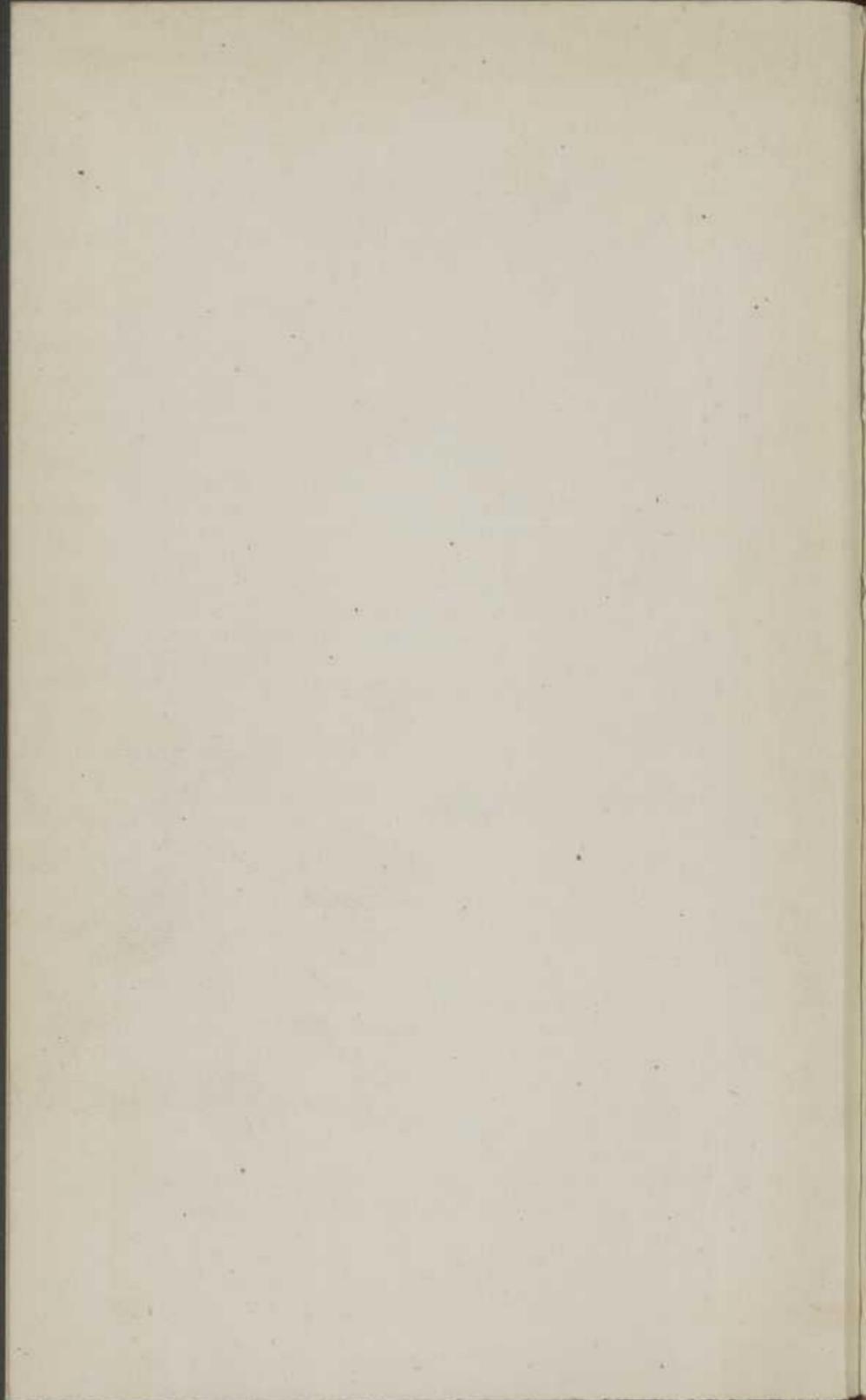
## CAPÍTULO IX.

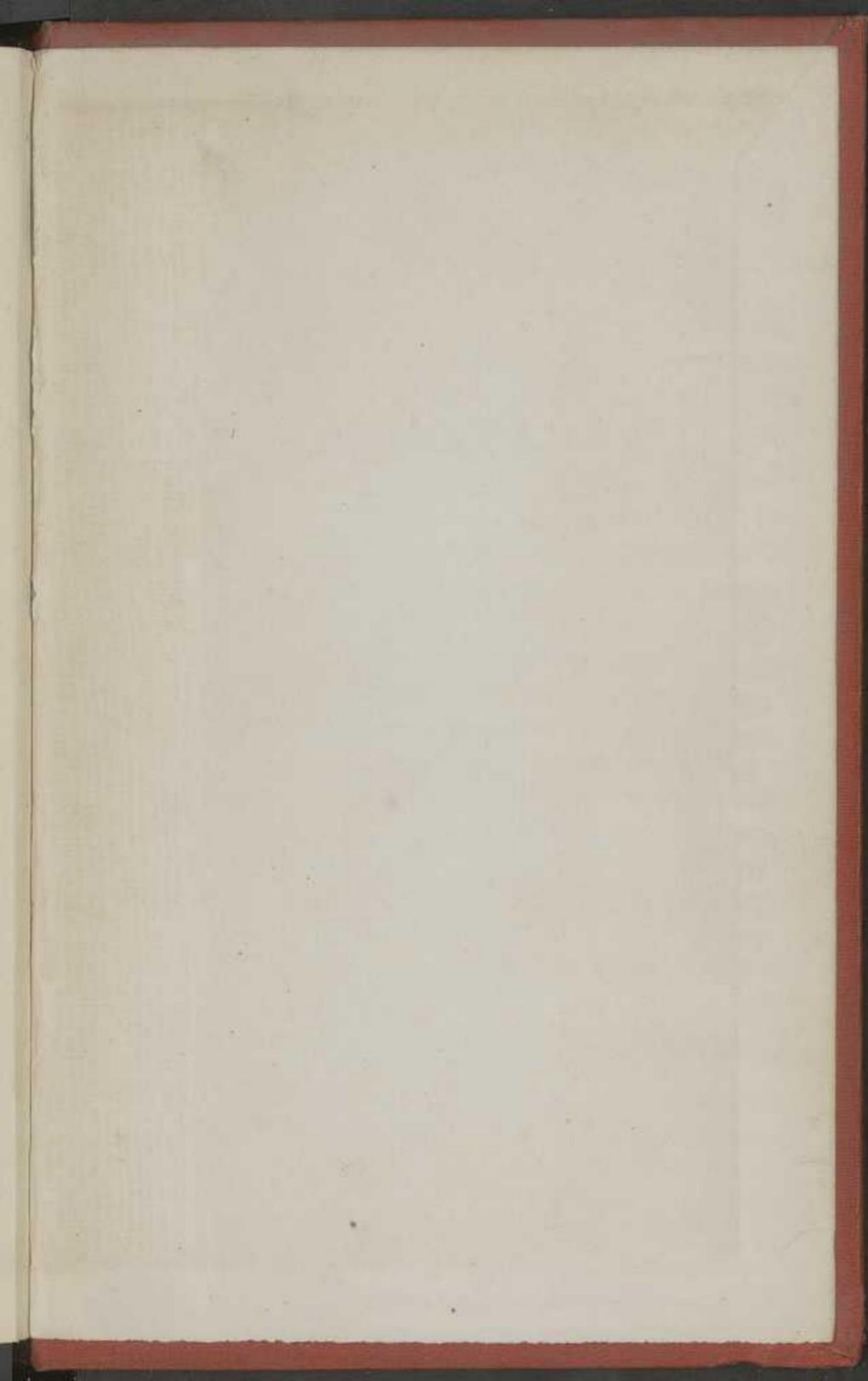
|   |     |
|---|-----|
| Lámparas eléctricas de gases enrarecidos. — |     |
| Luz Moore .....                             | 129 |
| Lámpara Kennedy .....                       | 129 |
| Lámparas Cooper-Hewit .....                 | 131 |
| Lámparas de gases permanentes .....         | 131 |
| Lámpara Glimm .....                         | 133 |
| Lámparas de vapores condensables .....      | 133 |
| Lámparas de vapores salinos.....            | 135 |
| Luz Moore .....                             | 136 |
| Naturaleza del gas empleado.....            | 140 |
| Influencia del grado de vacío .....         | 141 |
| Variaciones de tensión .....                | 143 |
| Rendimiento .....                           | 143 |
| Intensidad luminosa .....                   | 143 |
| Ventajas.....                               | 143 |

## CAPÍTULO X.

|  |     |
|--|-----|
| Medición de la luz. — Unidades y definiciones  | 144 |
| Unidades de luz .....                          | 144 |
| Cárcel .....                                   | 144 |
| Hefner.....                                    | 145 |
| Vernon-Harcourt .....                          | 145 |
| Cáandel.....                                   | 145 |
| Violle .....                                   | 146 |
| Bujía decimal .....                            | 146 |
| Relación entre estas diferentes unidades ..... | 146 |
| Intensidad luminosa.....                       | 147 |
| Brillo.....                                    | 149 |
| Flujo luminoso.....                            | 150 |
| Poder iluminante.....                          | 150 |
| Iluminación producida total .....              | 150 |
| Rendimiento .....                              | 151 |
| Rendimiento económico o comercial.....         | 152 |
| Medida de la intensidad luminosa .....         | 152 |
| Bunsen .....                                   | 154 |
| Fotómetro Lummer y Brodhun .....               | 154 |







2

254457

MASSACHUSETTS  
STATE ARCHIVES