

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS. CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

ELECTRICIDAD

Las lámparas de incandescencia con filamentos metálicos.

Procedimientos de fabricación.—Las lámparas de incandescencia con filamentos metálicos (tántalo, tungsteno, etc.) son hoy de un uso corriente por la economía que procuran, no obstante ser de precio más elevado que las lámparas ordinarias.

Los procedimientos de fabricación de estas lámparas son aún poco conocidos, por lo que juzgamos interesante resumir á continuación las reseñas dadas sobre este asunto por M. Blondel ante la Sociedad internacional de Electricistas.

Procedimientos directos.—Hay una primera categoría de procedimientos en la cual se forma el filamento directamente, por medio del metal de que se quiere hacer uso, ó de uno de sus compuestos. Se puede operar por estirado á la hilera, ó por compresión á la prensa, en una hilera, partiendo de una pasta plástica. Según los casos, se opera sobre polvo metálico puro, ó hecho puro con un simple calentamiento; sobre polvo metálico conteniendo impurezas que exigen un tratamiento de purificación; ó, finalmente, sobre compuestos que exigen un tratamiento químico antes de dar un filamento metálico.

El estirado en la hilera no se aplica hasta ahora más que al tántalo muy puro. Se obtienen, por el contrario filamentos hilados con metales refractarios, operando sobre coloides metálicos desecados con cuidado (procedimiento Kurel). Prensados á través de una hilera de diamante, estos coloides gelatinosos dan filamentos no conductores, que se desecan después que se han calentado á 100 grados en hidrógeno ó en el vacío. El paso de una corriente los pone entonces incandescentes, y los filamentos toman una estructura metálica y homogénea, disminuyendo mucho de longitud y de diámetro.

Se puede añadir á la pasta antes de hilada polvo ú óxido coloidal del metal refractario empleado, óxido que se reducirá ulteriormente.

El procedimiento más usual es el hilado de filamentos de metal impuro. Las impurezas son el óxido ó el carburo del metal, procedente este último del aglomerante orgánico empleado para el hilado y que da la ductilidad y la cohesión

necesaria al filamento. En este caso es necesario, después de la calcinación, efectuar la reducción y la descarburación de este filamento. Así se opera, por ejemplo, en las lámparas *Osram* de filamento de tungsteno. La descarburación tiene lugar llevando el filamento á la incandescencia en una atmósfera de hidrógeno que contiene una débil cantidad de vapor de agua. M. Blondel indica otros procedimientos.

Para evitar esta descarburación se han ensayado aglomerantes de descarburación automática, es decir, que contengan bastante oxígeno para quemar su carbono, pero la dosificación exacta del oxígeno es muy delicada. Se han ensayado también aglomerantes no carburados (sulfuro ó fosforo de amonio, etc.), pero tienen otros inconvenientes, razón por la cual se ha acudido generalmente á la descarburación.

Parece más natural que en lugar de preparar de antemano el metal refractario, se haga desde luego el filamento con un compuesto y reducir en seguida éste, lo que produce una gran contracción del filamento y facilita la obtención de hilos mucho más finos.

En el procedimiento *dux*, por ejemplo, se tratan los trióxidos de tungsteno por un exceso de amoníaco en disolución hasta la formación de una masa pastosa plástica, formando ácido tungsténico hidratado gelatinoso, que se puede hilar como los filamentos de celulosa y que fragua en el aire. Desecados en la estufa al abrigo del aire, estos filamentos resultan bastante conductores para ser llevados á la incandescencia, siempre al abrigo del aire, por una corriente eléctrica, lo que les convierte bien pronto en estado de filamentos de metal puro.

Algunas veces se hila una pasta que contiene un óxido y un aglomerante que se descarbura después; el carbono del aglomerante reduce el óxido y se elimina bajo la forma de óxido de carbono (procedimientos de la General Electric C.^o, de la Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, de la Sociedad francesa Auer, etc.)

Procedimientos indirectos.—Estos procedimientos se fundan en el empleo de un filamento ejecutado con otra materia distinta de la destinada á la incandescencia y á la cual sirve de sostén provisional ó definitivo.

Se ha ensayado, en efecto, desde hace algún tiempo depositar sobre un filamento de carbono metales ú óxidos precipitados por una reacción producida al contacto del filamento incandescente; pero este procedimiento no ha resul-

tado práctico más que cuando ha sido seguido de una descarbonación (procedimiento Just y Hanaman). El filamento de carbono se lleva en este procedimiento á la incandescencia en una atmósfera de hidrógeno cargada de compuestos reductibles (cloruro ú oxiclururo de tungsteno, por ejemplo), formándose así un ligero depósito. Se somete después el filamento á una alta temperatura en un gas inerte, donde el carbono y el metal se combinan, terminando lo cual se añade al gas un poco de vapor de agua que destruye rápidamente el carbono de las capas superficiales y poco á poco el de las capas profundas hasta la descarbonación completa.

Estas operaciones pueden ventajosamente combinarse, añadiendo el vapor de agua al primer gas, con lo que se consigue que la descarbonación se haga á medida que se va formando el depósito metálico y desaparezca el filamento de carbono antes de terminar aquél.

Se pueden también incorporar á los filamentos metálicos fabricados por un procedimiento cualquiera pequeñas cantidades de substancias extrañas. Así, M. Kuzel, calentando un filamento en vapores de un compuesto hidrogenado de carbono, de boro ó de silíceo, le da una resistencia mucho más grande que antes, se produce efectivamente una combinación superficial del metal y del metaloide, una especie de cementación del filamento, á pesar de lo cual el punto de fusión no se modifica.

Las principales dificultades en la fabricación de las lámparas con filamentos metálicos están en la delicadeza de la herramienta y en la mayor complicación de las operaciones comparadas con las de las lámparas ordinarias. La extrema finura de los filamentos (0,03 milímetros de diámetro) determina numerosas roturas; en muchos tipos la colocación en la ampolla de los filamentos es sumamente delicada, como lo es igualmente el reblandecimiento en caliente del filamento, que requiere algunas precauciones en la construcción y en el empleo de las lámparas.

La distribución de la luz, con lámparas cuyos filamentos son verticales, que es el caso general, teniendo lugar principalmente en el plano ecuatorial, la intensidad según la vertical es débil, lo que es casi desventajoso, pero se puede remediar por el empleo de reflectores apropiados.

Las lámparas de tántalo ó de tungsteno se practican corrientemente para intensidades de 16, 25 y 50 bujías, con una duración media de ochocientas horas las pequeñas y de mil quinientas las grandes. El consumo específico varía entre 1,25 watios (tungsteno) á 2,2 watios (tántalo) por bujía, medida según la horizontal.

Las grandes lámparas de 200 á 500 bujías tienen un rendimiento por lo menos igual al de las pequeñas y son mucho menos frágiles; pueden montarse en redes de 220 voltios y encuentran un empleo en el alumbrado de las grandes salas y aun en las calles, donde pueden hacer competencia á las lámparas de arco de pequeño modelo, que tienen el inconveniente de exigir una conservación diaria.

El precio de costo del alumbrado para estas diversas lámparas puede fácilmente calcularse por la fórmula:

$$P = \frac{p}{lt} + \frac{p'w}{1.000}$$

cos para las lámparas de 16 á 50 bujías; p' , precio del kilowathora; l , intensidad media esférica, en bujías; t , duración de una lámpara; w , consumo por bujía media esférica, ordinariamente 2 á 3 watios).

En el cuadro siguiente se comparan el alumbrado por

incandescencia con los otros sistemas de alumbrado y da los precios extremos que se encuentran normalmente.

Gastos de explotación de las lámparas eléctricas y con gas.

	INCANDESCENCIA		INCANDESCENCIA ELÉCTRICA			
	POR EL GAS		Por el carburo 32 B durante 300 horas.		Por el tungsteno 32 B durante 1.000 horas.	
	Ordinaria	Invertida	110 voltios.	220 voltios.	110 voltios.	220 voltios.
	Gas á 0,20 fr. el metro cúbico.		Electricidad á 0,70 fr. el kilowathora.			
Consumo horario por lámpara en wathoras ó en litros.....	80	80	110	120	35	45
Gasto correspondiente al consumo en francos...	0,016	0,016	0,07	0,084	0,0245	0,0315
Gastos de renovación de lámparas por hora.....	0,004	0,004	0,0017	0,003	0,0037	0,0062
Gastos totales de alumbrado por hora.....	0,20	0,20	0,072	0,087	0,028	0,038
Intensidad luminosa esférica media, en bujías decimales.....	65	60	28	28	28	28
Precio de la B _{med.} esf. por hora....	0,00030	0,00033	0,00258	0,031	0,010	0,0136
	Gas á 0,10 fr. el metro cúbico.		Electricidad á 0,10 fr. el kilowathora.			
Gasto de consumo	0,008	0,008	0,01	0,011	0,0035	0,0045
Gastos totales comprendida la renovación.....	0,012	0,012	0,012	0,014	0,0072	0,0107
Precio de la B _{med.} esf. por hora....	0,00018	0,00020	0,00043	0,0003	0,00026	0,00038

Es de prever que la simplificación de los procedimientos de fabricación, la reducción del número de filamentos y de su longitud, la reducción de la fragilidad, y, finalmente, la baja del precio de coste, den cada vez más á las lámparas con filamentos metálicos y particularmente de tungsteno la preponderancia sobre las otras lámparas de incandescencia.

Influencia del exceso del voltaje sobre la duración de las lámparas con filamento metálico.—Por duración de una lámpara de incandescencia se puede entender, ya la duración absoluta, es decir, aquella al cabo de la cual la lámpara se encuentra destruída, ya la duración útil, ó sea la que al término de la cual hay interés ó necesidad de reemplazar la lámpara, sea por razón de la disminución de su rendimiento, sea simplemente porque su poder iluminante ha descendido por debajo del límite admisible, que es en general el 80 por 100 del poder iluminante inicial.

Para las lámparas con filamento de carbono, la duración absoluta está perfectamente determinada: la lámpara efectivamente está fuera de uso cuando el filamento se corta una primera vez. Para las lámparas con filamento metálico se puede, por el contrario, orientándolas convenientemente, llevar, en general, las dos extremidades del filamento al contacto; la soldadura se produce y la lámpara puede utilizarse en un nuevo período. Generalmente se designa por duración absoluta la que precede á la primera rotura.

Se sabe, desde hace mucho tiempo, que la duración de una lámpara con filamento de carbono depende esencialmente de la tensión á la cual se la somete, y se sabe también que cuanto más elevado es su rendimiento más sensi-

ble es á las variaciones de voltaje. Esta es la razón por la cual en ciertas redes donde la regulación es excelente se emplean con satisfacción lámparas de 2,5 watos por bujía, lo que no ocurre en otras, donde apenas si se pueden emplear lámparas de 3,5 watos.

Hasta ahora se poseen pocos datos acerca de la influencia del exceso de voltaje sobre la duración de las lámparas con filamento metálico. M. H. Rémané ha presentado en la Asamblea anual de la Unión Electriciens Allemands, el año último, el resultado de las observaciones que él ha hecho en este sentido sobre la lámpara Osvam.

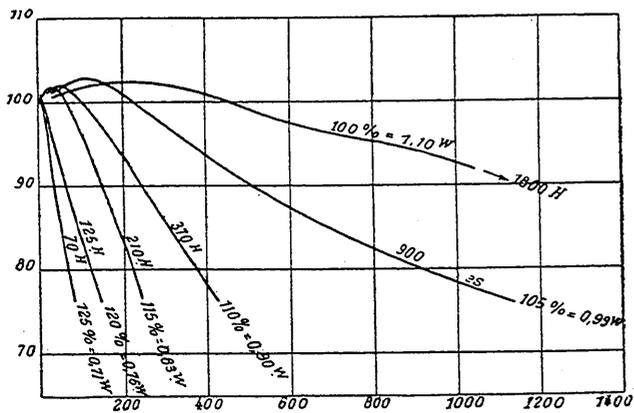


Fig. 1.ª f

Un lote de 144 lámparas se dividió en cinco grupos que han sido ensayados bajo tensiones constantes que variaban entre 100 por 100 y 125 por 100 de la tensión normal, ó dicho de otro modo, desde la tensión normal hasta un sobrevoltaje de 25 por 100. La figura 1.ª resume los resultados de estos ensayos.

Si la resistencia del filamento permanecía constante, la energía absorbida crecía como el cuadrado de la tensión. En realidad, la resistencia del filamento aumentando con la temperatura, la energía crecía menos rápidamente que este cuadrado. El cuadro siguiente indica las variaciones al mismo tiempo que la de la intensidad luminosa.

Tensión en %	Cuadrado de la tensión en %	Watos en %	Resistencia en caliente en %	Intensidad luminosa en %
100	100	100	100	100
105	110,1	108,5	101,3	121,5
110	121	117	103,4	143
115	132,2	125,3	105,5	167
120	144	133,2	108	193,5
125	156,3	142,7	109,6	221

Si se fija la atención en la figura 1.ª, se verá que á la tensión normal la intensidad luminosa comienza por crecer con el tiempo. La corriente aumenta también, pero insuficientemente para corresponder al incremento del poder iluminante, y el filamento sufre, por lo tanto, una modificación, en el sentido de una reducción de superficie.

La temperatura del filamento, y, por consecuencia, un rendimiento luminoso tienden también á elevarse, y al cabo de 400 horas próximamente, la intensidad luminosa ha vuelto á su valor primitivo, y al calor de 800 á 1.000 horas, la corriente ha vuelto igualmente á su primer valor, perdiendo el filamento poco á poco partículas infinitesimales que, proyectadas sobre el vidrio, pueden contribuir también á reducir el flujo luminoso. Para formarse una idea de la influen-

cia de este factor, basta tener en cuenta que la absorción crece en progresión geométrica cuando el espesor de la capa crece en progresión aritmética, y que esta capa es una función lineal de la duración de la lámpara.

Las cifras marcadas sobre cada curva de la figura 1.ª indican la duración útil en cada caso. es decir, el tiempo al cabo del cual la intensidad luminosa primitiva se ha reducido en un 20 por 100.

En régimen normal la duración útil es generalmente inferior á la duración absoluta; pero no ocurre lo mismo en un régimen de sobrevoltaje, lo que pone de manifiesto la influencia de éste sobre la duración de la lámpara.

Se observa igualmente que cuanto mayor es la tensión, más se aproximan los máximos al origen, al mismo tiempo que es más corta la duración de la sobreintensidad luminosa.

Partiendo de estas observaciones, M. Rémané ha determinado los coeficientes por los cuales es necesario multiplicar la duración de la lámpara con sobrevoltaje para obtener la duración en régimen normal. La figura 2.ª da un diagrama. En él se ve que una lámpara que hubiera ardido cien horas con un sobrevoltaje de un 10 por 100 estaría en el mismo estado que si hubiera ardido $100 \times 5,36 = 536$ horas en régimen normal. En duración normal se tenía, pues, acortada en $536 - 100 = 436$ horas.

M. Rémané ha, finalmente, determinado cuál es el número de bujías-horas suministrado por la lámpara durante el período de duración útil, según el régimen á que ha estado sometida.

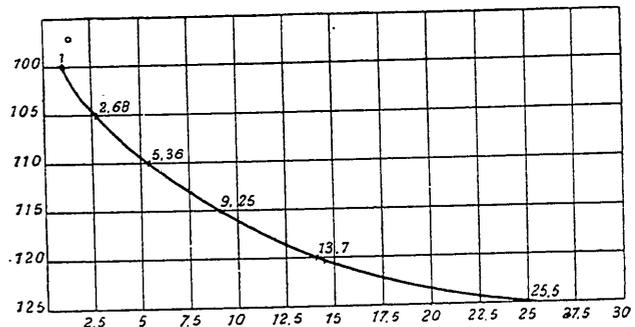


Fig. 2.ª

El cuadro siguiente, que se refiere á lámparas de 32 bujías, demuestra que este número disminuye rápidamente con el sobrevoltaje.

TENSION EN %	BUJÍAS-HORA	
	Totales.	%
100	8 360	100
105	5.088	51
110	2.200	26
115	1.260	15
120	770	9
125	430	5

Conviene añadir á lo dicho que estos ensayos se han hecho con corriente alterna: pero el autor estima que la diferencia con la corriente continua, si hay alguna, será de poca importancia.—O.

