

LAS LAMPARAS DE HALOGENUROS METALICOS Y EL ALUMBRADO PUBLICO. I.—LA LAMPARA *

J. M. CASAL

FECHA, S. A. Madrid-16.

ABSTRACT

In the first part of the article the advantages of metal halide lamps in street lighting are discussed, based on their efficiency, compactness and color rendering, opposed to their flux depreciation and relatively short life. The present state of their technology is described. The great variety of electric and photometric parameters of the different lamps presently available, is also reviewed in terms of their geometry and in relation to the different metallic salts used.

INTRODUCCIÓN.

Las mejoras realizadas en las características de las actuales lámparas de vapor de mercurio de alta presión, consecuencia de las inversiones efectuadas en la investigación y puesta a punto de los procesos de fabricación han permitido lograr un aceptable equilibrio entre las exigencias visuales del tráfico y los costos que lleva unida la explotación de las instalaciones de alumbrado viario.

Pero el continuo incremento de los niveles cualitativos que debe satisfacer el alumbrado artificial en todo su extenso campo de aplicación, que en el caso de su instalación en carreteras es una consecuencia de las mayores velocidades y densidad del tráfico, de la necesidad de aumentar la seguridad y comodidad de los usuarios de las vías públicas, etcétera, los científicos, técnicos y empresarios continúan en su labor para conseguir aumentar la eficacia de las lámparas, alcanzar un aceptable rendimiento en color y reducir el tamaño de la fuente luminosa, entre otros objetivos de similar importancia, a fin de lograr alumbrados que satisfagan

aquellos niveles con relativos bajos costos de explotación y reducidas inversiones.

En este sentido constituye un notable y prometedo avance la disponibilidad de lámparas de halogenuros metálicos a pesar de que, en el momento actual, no se pueden considerar como un paso definitivo, ya que su vida es menor que la de las lámparas de vapor de mercurio de mayor duración, y, la depreciación de su flujo, sensiblemente superior.

Es interesante resaltar que, normalmente, en el desarrollo de las diversas lámparas disponibles en la actualidad, las mejoras en sus características han constituido más un proceso continuo, aunque de gran dinamicidad, que una consecuencia de avances espectaculares, de ahí las expectativas que proporciona este nuevo tipo de lámparas.

Pues bien, para conseguir los citados objetivos o, más concretamente, para alcanzar un aceptable rendimiento en color y, en algún caso, mejorar la eficacia de las lámparas de vapor de mercurio se realizaron trabajos, incluso desde antes de iniciar su comercialización, en 1935, que permitieron utilizar para ello sustancias fluorescentes, las cuales, excitadas bajo la acción de radiaciones ultravioletas y luminosas, permitieron mejorar sensiblemente su índice de rendimiento en color a pesar de las dificultades

(*) Este artículo corresponde a una parte de la conferencia que sobre "Iluminación" pronunció el autor en el II Seminario de Ingeniería de Tráfico.

tades que hubo que vencer dada la alta temperatura y potencia de este tipo de lámpara.

En la mayoría de los casos, la luz absorbida por las indicadas sustancias es similar, cuantitativamente, a la energía visible que radian de ahí que la eficacia de las lámparas de vapor de mercurio, tanto las que tienen ampolla recubierta con capa fluorescente como las que no la tienen es, prácticamente, la misma (1).

Otro método para conseguir similar objetivo consistió en introducir en el arco partículas de elementos metálicos: plomo, cadmio, cinc, o metales análogos que permitían mejorar sensiblemente el rendimiento en color de la lámpara al emitir en la zona de los azules y rojos, pero por la absorción que ello llevaba unido, reducían sensiblemente la eficacia luminosa de la descarga, entre 30 y 40 lm/W, y aumentaban excesivamente la depreciación de su flujo ya que los elementos metálicos a lo largo de su explotación ennegrecían rápidamente las paredes del tubo donde se efectúa la descarga, incluso muchos de ellos las atacaban, lo que reducía su duración y exigían cargas muy elevadas para asegurar temperaturas compatibles con las tensiones de sus vapores. De ahí que, desde el empleo de las sustancias fluorescentes de fluorogermanato de magnesio, se hayan abandonado los trabajos para la posible utilización de los indicados elementos, cuyo uso ha sido siempre reducido.

Por último, otro sistema para alcanzar una significativa mejora en el rendimiento en color con un reducido tamaño de la fuente luminosa, lo que permite un buen control de la luz y aumentar, en la mayoría de los casos, la eficacia de la lámpara de vapor de mercurio, consiste en introducir en el interior del tubo donde se produce la descarga eléctrica ciertos halogenuros metálicos —en la actualidad solamente yoduros— que, al disociarse por la elevada temperatura y excitarse el metal liberado —el yodo, prácticamente no es excitado dado el nivel energético que exige— permite modificar decisivamente la distribución espectral de las lámparas convencionales de acuerdo con los tipos de elementos utilizados (fig. 1).

Como es de sobra conocido, al producirse una descarga eléctrica en el seno de un gas o vapor metálico, la energía luminosa se emite en radiaciones de las longitudes de onda características del gas o vapor. Por ello, al mezclar diversos vapores metálicos, cuya concentración de átomos excitados a un determinado nivel de energía se puede calcular teóricamente con las fórmulas de Boltzmann, es posi-

ble conseguir una luz blanca, con aceptable rendimiento en color y altas eficacias.

Así, si se conocen las longitudes de onda de las radiaciones que puede emitir un metal, el nivel de energía que exige para excitarse, la tensión de vapor de su halogenuro a la temperatura del punto frío o de menor temperatura del tubo donde se produce la descarga, su estabilidad a esta temperatura y la probabilidad de que emita radiaciones en la descarga de mercurio, se pueden prever teóricamente los resultados que se obtendrán.

Este procedimiento se patentó ya en 1900 por una firma estadounidense, y, hacia 1913, Nernst dio una fórmula para alcanzar tal objetivo mediante la utilización de varias sales, cuyo empleo permitía evitar que los metales alcalinos atacasen a las paredes del tubo en cuyo interior se producía la descarga eléctrica.

A pesar de ello, sólo desde muy recientemente —a partir de los trabajos realizados por Reiling— es cuando se han obtenido resultados que permitieron, en 1962, anunciar, con carácter experimental, la fabricación de un tal tipo de lámpara, la cual se utilizó por primera vez, 1964, en una instalación importante: la Fuente de los Planetas (fig. 2) en la Feria Mundial de Nueva York (lámparas reflectoras de 400 y 700 W). Su comercialización en Estados Unidos se inició, en enero de dicho año, con la lámpara de 400 W, aunque su fabricante indicaba en sus catálogos que “deben aclararse muchos extremos antes de que la nueva fuente se recomiende para un extenso uso”. En mayo de 1965 se ofreció en el mercado norteamericano la lámpara de 1000 W (2).

En Europa se lanzó al mercado simultáneamente la de 400 W y 2000 W, en 1965, aunque sus fabricantes hacían resaltar que sus características técnicas eran provisionales y las facilitaban sin compromiso. Es interesante indicar que, con anterioridad, en 1964, se habían realizado también algunas instalaciones experimentales con lámparas de halo-

(2) Dada la dinamicidad de las mejoras en las fuentes de luz, la agresividad de su mercado y el costo, en tiempo y dinero, que exige el determinar muchas de las características cualitativas de las lámparas de descarga, con alguna frecuencia se inicia su comercialización sin un conocimiento suficiente del producto. Ello se produce, con mayor frecuencia, en aquellos momentos en que, un determinado fabricante, ofrece en el mercado una nueva lámpara o de características sensiblemente mejores que las convencionales. No ha sido una excepción la lámpara de halogenuros, y así, por ejemplo, uno de los más importantes fabricantes del mundo ha lanzado al mercado, en 1965 y 1966, cuatro tipos de estas fuentes de luz de las cuales no comercializa ninguna. Ello coadyuva a dificultar la elección de la lámpara para una aplicación específica, pues puede ocurrir que si no se aprovechan los últimos avances tecnológicos, se produzca una rápida obsolescencia de la instalación, mientras que, en otros casos, la utilización de fuentes de luz no podrán justificarse con sus características reales.

(1) La lámpara denominada por los norteamericanos “white”, que no se comercializa en España, así como la “white de luxe”, disponible en el mercado nacional posteriormente a la celebración del II Seminario de Ingeniería de Tráfico, tienen una eficacia inicial superior a las de vapor de mercurio de color sin corregir.

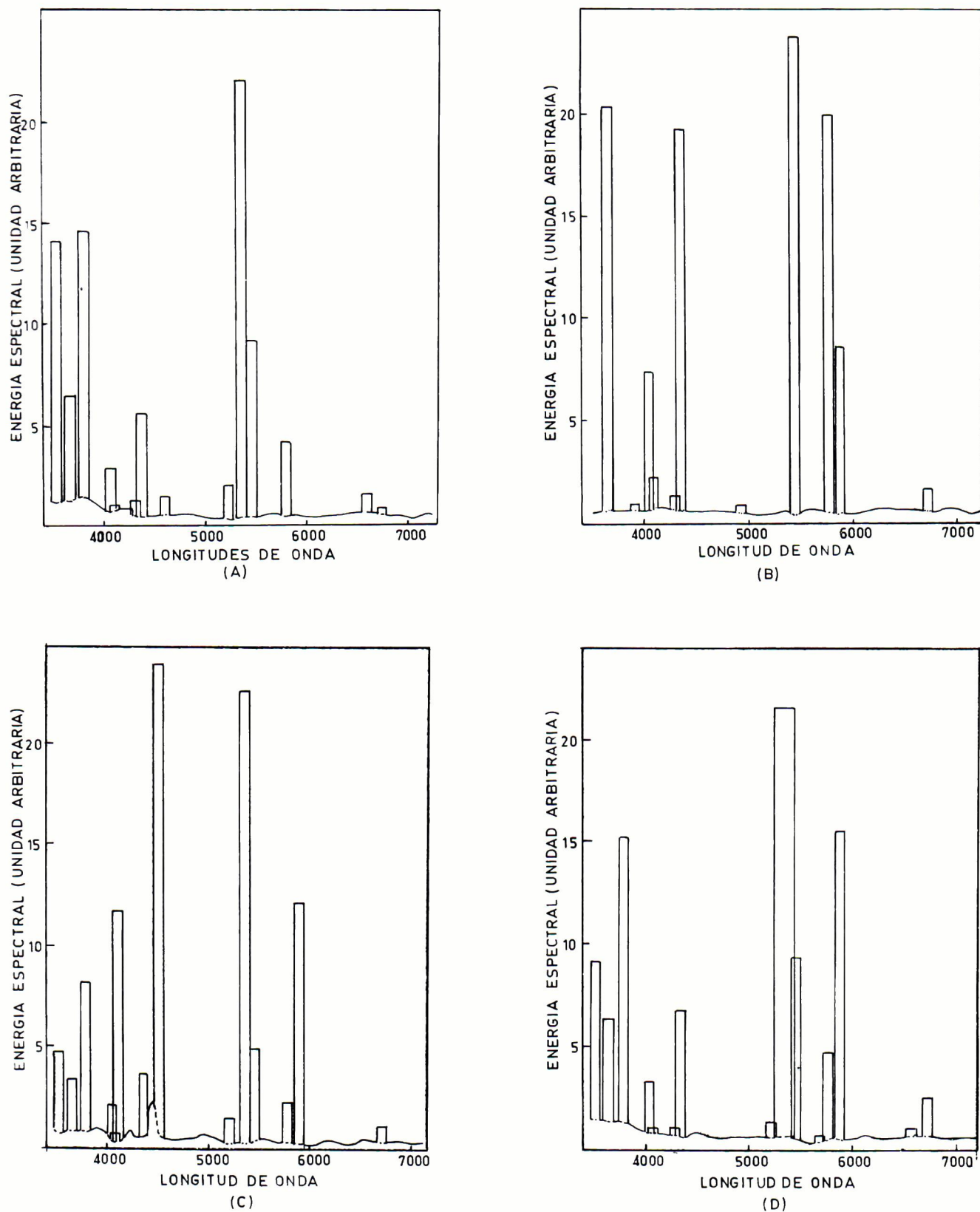




Fig. 2.—Un aspecto de la Fuente de los Planetas.

genuros metálicos —500 W, 35000 lm— como el alumbrado artístico de la Puerta de París, en Lille, con motivo de las “Journées de la Lumière” del citado año, y, en España, se utilizaron por vez primera, a finales de 1964, lámparas importadas de Estados Unidos en la instalación de alumbrado de la calle Sevilla, de Madrid (fig. 3).

DESCRIPCIÓN DE LAS LÁMPARAS.

Para conseguir una mejora en la eficacia y rendimiento en color de las lámparas de vapor de mercurio convencionales —las de halogenuros metálicos se consideran como una modificación de aquéllas—, los metales o sales que se utilicen como aditivos deben tener altas tensiones del vapor a temperaturas compatibles con los materiales del tubo; excitarse con relativos bajos niveles de energía, inferiores a los del mercurio; emitir un porcentaje importante de sus radiaciones dentro del espectro visible, no atacar, químicamente, a los componentes de la lámpara, y tener baja conductibilidad térmica.

Ello ha obligado a utilizar halogenuros, ya que de los metales que satisfacen algunas de las exigencias anteriores, como, por ejemplo, el talio, que se



Fig. 3.—Un aspecto del alumbrado de la calle de Sevilla, de Madrid.

excita ya a 3,27 eV, por su baja tensión del vapor (figura 4) exigiría cargas por cm^2 muy altas, unas tres veces más elevadas que en las lámparas de vapor de mercurio convencionales, pues a la temperatura de las paredes del tubo de éstas, no se vaporizaría, mientras que, si se introduce en el seno de la descarga su yoduro, cuya tensión del vapor es mucho más elevada (fig. 4), al disociarse alrededor de los 6000° K —temperatura en el eje de la descarga— se consigue superar aquella dificultad.

Otro de los factores limitativos del empleo de determinados metales, como el sodio —que proporciona tantas posibilidades como aditivo por su bajo nivel de resonancia, 2,1 eV, y emitir en las rayas D_1

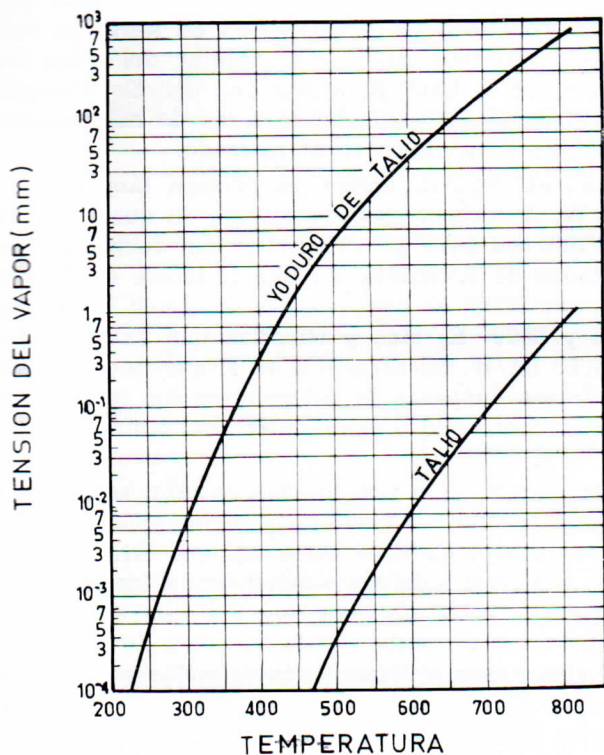


Fig. 4.—Tensión de vapor del talio y de su yoduro.

y D_2 —, es que atacan químicamente las paredes del tubo de cuarzo a las altas temperaturas que alcanzan cambiándolas de color y desvitrificándolas.

La utilización de halogenuros metálicos minimizan este grave problema, pues se produce un proceso similar al que tiene lugar en las lámparas incandescentes de cuarzo-yodo.

Así, el halogenuro, en el interior del plasma, se disocia en sus dos elementos, pero en las zonas cercanas al tubo, de temperatura inferior, se recombinan aquéllos, lo que, prácticamente, elimina la posible acción química del metal sobre las paredes. Este es el motivo que justifica la utilización de yoduro de sodio a pesar de que su tensión del vapor es muy inferior a la del metal (fig. 5).

Por tanto, si se añade a la lámpara de vapor de mercurio halogenuros de un solo metal, o, como en

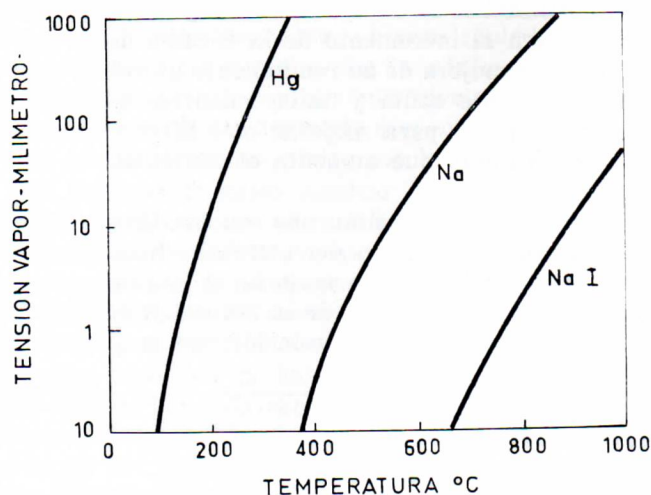


Fig. 5.—Tensión de vapor en mm. de mercurio en función de la temperatura.

la actualidad, de varios metales en proporciones convenientes, pues aunque es posible conseguir una luz blanco con uno solo como, por ejemplo, el yoduro de escandio (fig. 6), dada la tensión de su vapor y el nivel de energía exigido por el metal para excitarse, no es utilizable con la actual tecnología, por lo que hoy las lámparas que se comercializan llevan varios aditivos, lo que permite, por adición de sus diversos espectros, conseguir una luz blanca y de alta eficacia.

Los metales que proporcionan hoy mayores posibilidades para ello son el sodio —cuya distribución espectral se ensancha hacia la zona de los rojos a las presiones que se alcanzan en las lámparas de halogenuros—, el talio y el indio, aunque parece probable que en su desarrollo se utilicen, en mayor grado que en la actualidad, aditivos que emitan prác-

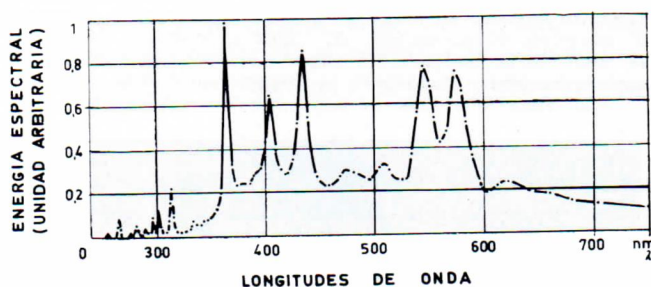


Fig. 6.—Distribución espectral de una lámpara de vapor de mercurio con aditivo de yoduro de escandio.

ticamente en todo el espectro visible, como el torio, empleado ya, el itrio, el disprosio (3), etc.

(3) Recientemente, en la National Technical Conference de la I. E. S., de 1967, se ha informado sobre algunas características de lámparas de halogenuros en las que se utilizan como aditivos yoduros de disprosio, talio e indio. Con ello se logra, según la información facilitada, índices de rendimiento en color del 88 por 100, con 5200° K.

La utilización de unos aditivos se justifica porque contribuyen al incremento de la eficacia de la lámpara y a la mejora de su rendimiento en color, como los yoduros de sodio y talio, mientras que otros sólo se emplean para mejorar este último como el yoduro de indio, que aumenta el contenido en azul y verde.

Es interesante resaltar que, en las lámparas de halogenuros, la emisión del mercurio disminuye, lo que coadyuva también a mejorar el rendimiento en color, como consecuencia de la reducción de la temperatura en el plasma en relación con la que se al-

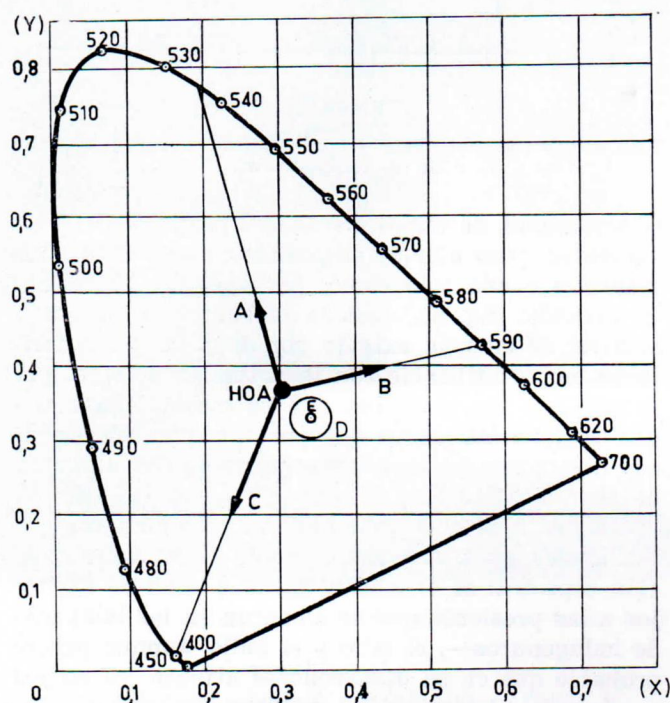


Fig. 7.—Coordenadas, en el diagrama de cromaticidad, de: E, punto blanco; H, punto de color de la lámpara de vapor de mercurio convencional; A, lugar geométrico del punto de color de la lámpara de vapor de mercurio con TII; B, lugar geométrico con NaI; C, lugar geométrico con InI₃; D, zona del punto de color con TII, NaI e InI₃.

canza en las convencionales de vapor de mercurio, debido a la energía transformada en radiación por los aditivos que, en el caso de estas últimas, se convierte en calor.

Ello reduce la concentración de los átomos de mercurio excitados a los niveles exigidos para emitir dentro de la zona visible, y explica, por lo menos en parte, la reducción de la emisión del mercurio en las lámparas de halogenuros —salvo si los aditivos exigen altos niveles energéticos para excitarse y su concentración es pequeña—, el cual puede llegar, incluso, a desempeñar solamente un papel de gas difusor o de choque como, por ejemplo, en la lámpara de yoduro de torio, metal de un bajo nivel de excitación del orden de 3 eV y de espectro complejo, de acuerdo con la información facilitada

en la National Technical Conference de la I. E. S. norteamericana de 1964.

Aunque no es totalmente admisible el "Méthode de mesure et de spécification des qualités de rendu des couleurs des sources de lumière" de la C. I. E. para determinar el índice de rendimiento en color de las lámparas de halogenuros metálicos y de vapor de mercurio convencionales, ya que no tienen una cromaticidad similar a los iluminantes de referencia —el radiador de Planck para las temperaturas de color inferiores a 5000° K y, para superiores, una serie de distribuciones espectrales de la luz natural—, es interesante indicar que mientras el índice, obtenido por el citado método, de las lámparas de vapor de mercurio de color corregido que se comercializan en la actualidad es, según la mayoría de los fabricantes, muy similar, del orden del 48 por 100 y 4200° K, existe una notable diversificación en el correspondiente a las de halogenuros metálicos disponibles en el mercado.

Así, en nuestra nación se ofrecen lámparas de 400 W, de origen estadounidense, en que R es 67 por 100, con 4900° K; otras con color corregido, importadas de Alemania, en que el índice es 85 por 100, con 6500° K; japonesas, con 92 por 100 de índice y 5500° K, etc., y eficacias que varían entre 90 y 55 lm/W, mientras que en el mercado mundial se ofrecen lámparas de halogenuros con temperaturas de color que oscilan entre los 2400° K y los 10000° K.

En general, si la temperatura de color se eleva, la eficacia luminosa disminuye y se incrementa el índice de rendimiento en color, aunque éste se mantiene por encima del correspondiente a las lámparas de vapor de mercurio color corregido convencionales.

Ello se debe a que los fabricantes de lámparas de halogenuros utilizan distintos yoduros metálicos —en la figura 1 se puede observar cómo condicionan su distribución espectral— y, en otros casos, diversas dosificaciones de los mismos que determinan, como ya se indicó, la eficacia luminosa y rendimiento en color.

Para dar una orientación sobre la influencia de la dosificación, en el triángulo cromático de la figura 7 se puede ver el punto blanco, E, y el correspondiente al punto de color de la luz producida por la lámpara de vapor de mercurio convencional.

Si se introduce en el interior del tubo donde se produce la descarga TII, el punto de color de la luz emitida por la lámpara se desplaza en la dirección A, en dirección B si se añade NaI y hacia C si el aditivo es InI₃. Como en las lámparas de halogenuros al producirse la descarga el InI₃ y TII están en estado de gas se comprende que si se modifica su dosificación se puede variar su cromaticidad.

Dados los problemas que exige resolver el diseño de una lámpara que permita alcanzar un alto

rendimiento en color y una gran eficacia, por la dificultad para conseguir un adecuado control de la carga, temperatura y presión que exige la utilización de diversos halogenuros, se ha procurado simplificar su realización al utilizar pocos aditivos.

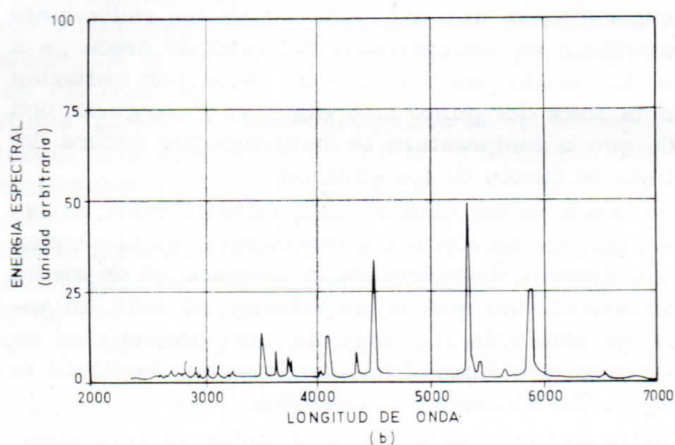
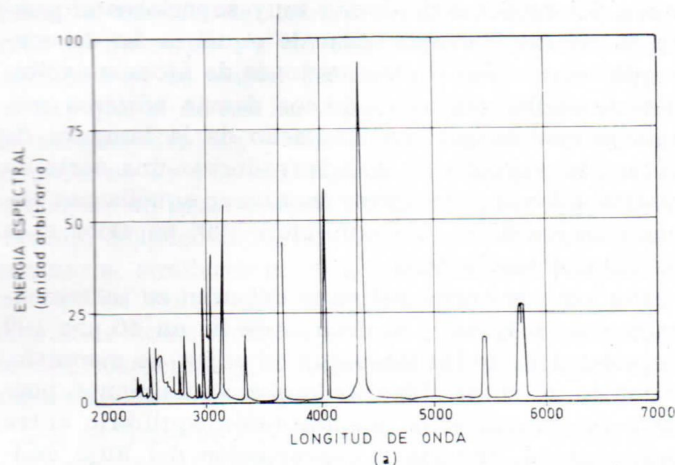


Fig. 8.—Curva de distribución espectral de una lámpara de vapor de mercurio (a) y de halogenuros metálicos (b).

A ello se une que si se emplean halogenuros —insistimos que hasta ahora solamente yoduros, aunque teóricamente es posible utilizar cloruros y bromuros (4)—, unos en estado de vapor seco, en general I_3Tl y I_3In , y, otros, saturados, como el INa , puede modificarse la proporción de la concentración de los diversos componentes al variar las características del suministro de energía y, por tanto, cambiar sensiblemente los resultados previstos.

Por otro lado, dado que la temperatura de la descarga decrece según una ley parabólica desde su eje hasta las paredes del tubo, las proporciones de los átomos excitados de los diversos metales varían asimismo cada nivel de energía y, por tanto, la emisión de radiaciones es distinta en cada zona del

(4) En un trabajo presentado en la XVI Sesión de la C. I. E. (1967) se facilitó información sobre una lámpara de halogenuros metálicos en la que se utilizan como aditivos bromuros y yoduros de estaño.

arco. Por el mismo motivo, a lo largo de un período, varía el color de la luz —blanco azulado con intensidad máxima y rojizo con la mínima—, ya que los átomos que se excitan con niveles de energía más bajos continúan radiando aún cuando la corriente se anule, lo que no ocurre con los de mercurio.

Es interesante hacer resaltar que, aun cuando se producen radiaciones ultravioletas en las lámparas de halogenuros metálicos, aunque en mucha menor proporción que en las de vapor de mercurio (fig. 8), ya que las líneas de resonancia de los metales utilizados como aditivos están en la zona visible del espectro casi con la única excepción del talio, la mayoría de los fabricantes no emplean sustancias fluorescentes para mejorar con ello el rendimiento en color de la fuente, o aumentar su eficacia, ya que la ventaja que ello reportaría es pequeña mientras la menor compacidad del emisor impediría conseguir un buen control de la luz, como ocurre en las lámparas de vapor de mercurio de color corregido.

No obstante esto, en Europa se producen lámparas de 400 W, con ampollas de forma convencional, dotada de una capa de sustancia fluorescente, las cuales, según su fabricante, tienen una eficacia inicial del orden de 77 lm/W, además de las de ampolla transparente, de forma cilíndrica, y 82 lm/W (figura 9).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

La utilización de las lámparas de halogenuros exige aún vencer, en mayor o menor escala, una serie de problemas tecnológicos importantes como, por ejemplo, lograr un gran control de la temperatura del punto frío, sobre todo si se emplean halogenuros en estado de vapor saturado; utilizar halogenuros de gran pureza, a fin de eliminar toda sustancia electro-positiva susceptible de captar electrodos; reducir, o eliminar, el ataque químico a los

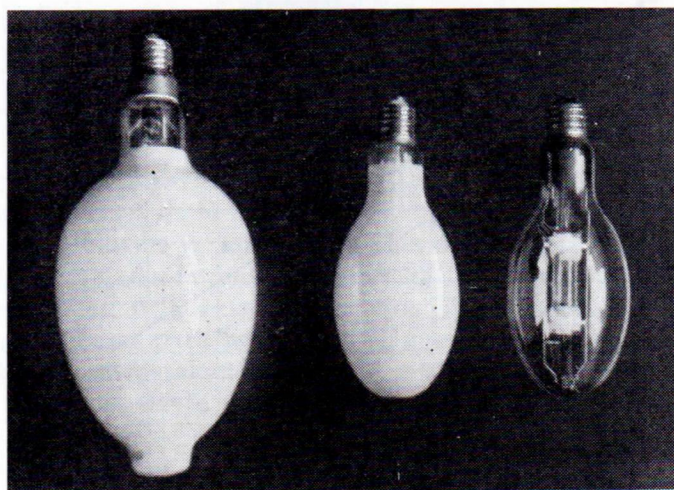


Fig. 9.—Diversas lámparas de halogenuros metálicos.

electrodos y paredes del tubo, que tiene especial importancia si se utilizan yoduros alcalinos; que sus parámetros eléctricos las hagan totalmente intercambiables con las convencionales de vapor de mercurio, lo que facilitará su utilización, etc.

Antes de referirnos a las posibilidades de las lámparas de halogenuros metálicos en el alumbrado via-

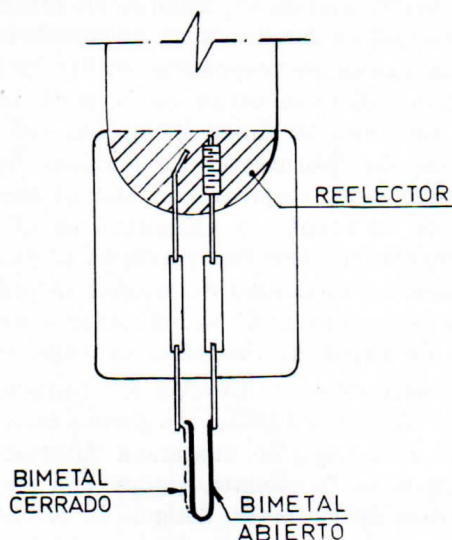


Fig. 10.—Esquema del extremo del tubo donde se produce la descarga.

rio, es interesante indicar que las características constructivas de las disponibles en la actualidad son, en muchos puntos, muy diferentes de las de mercurio convencionales, ya que las tensiones del vapor de los aditivos metálicos, el ataque químico que éstos producen sobre los electrodos, etc., condicionan, en gran manera, aquéllas.

Por otro lado, dado el estado actual de la tecnología de fabricación de lámparas de halogenuros me-

tálicos y su dinámica existe una cierta dispersión en sus características constructivas, de ahí que, a continuación, sólo se indican las de aquellos tipos más usuales en el mercado.

En primer lugar, la baja tensión del yoduro de sodio (fig. 5) exige incrementar la temperatura mínima del tubo hasta niveles muy superiores al punto de fusión y evaporación de aquél, a fin de conseguir aceptables concentraciones de átomos excitados de sodio, así como de los demás aditivos metálicos, por lo que, en el diseño de la lámpara de vapor de mercurio se han introducido una serie de modificaciones para lograr mantener aquélla por encima de los 650° , es decir, unos 100° superior a la de las convencionales.

Por ello, la carga del tubo del arco se incrementa hasta 14 W/cm^2 , es decir, más de un 40 por 100 superior a la de las lámparas de vapor de mercurio, valor que permite alcanzar lo que, actualmente, puede considerarse como un aceptable equilibrio entre temperatura, eficacia y depreciación del flujo emitido. Como complemento, la mayoría de los fabricantes aplican una capa que refleja las radiaciones caloríficas en los extremos del tubo de descarga a fin de reducir las pérdidas de calor por radiación en la zona del punto frío (fig. 10) y asegurar con ello que la temperatura se mantenga por encima del punto de fusión de los aditivos.

Además la ampolla no está rellena, como en las de vapor de mercurio convencionales, de nitrógeno, cuya presión, desconectada la lámpara, es de media atmósfera, sino que, en su interior, se hace un vacío del orden de $10^{-4} \text{ mm. de mercurio}$, el cual se mantiene a lo largo de su explotación, mediante el empleo de absorbentes metálicos.

Otro aspecto que distingue a ambos tipos de fuentes de luz se debe a la actividad química de los óxidos de tierras raras y las sales metálicas que impiden utilizar, en las lámparas de halogenuros, los electrodos utilizados en las de vapor de mercurio de mayor duración, los denominados por los estadounidenses "improved oxide" o "metaloxide", ni tampoco los de las lámparas convencionales fabricadas en Europa.

Por ello se utilizan electrodos torio-wolframio, lo que unido a las altas cargas del tubo del arco, justifica la rapidez y elevada depreciación del flujo luminoso emitido por las lámparas de halogenuros, muy superior a las de vapor de mercurio.

Así los lúmenes medios con 7500 horas de utilización, según los fabricantes que ofrecen las lámparas de halogenuros de 400 W de mayor calidad, bajo este aspecto, son del orden del 74 por 100 de los iniciales —en las de vapor de mercurio convencionales, de la misma potencia, con 16000 horas de uso, el flujo medio es el 89 por 100 del inicial—, por lo que, esta depreciación (fig. 11) constituye, sin duda, el factor limitativo más importante para su

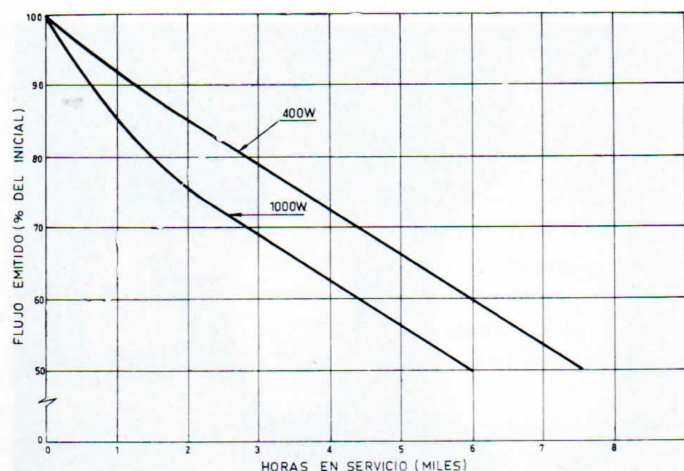


Fig. 11.—Curvas de depreciación del flujo emitido por lámparas de halogenuros metálicos de 400 W y 1.000 W.

utilización en gran escala (5), a lo que también coadyuva, de forma decisiva, las expectativas que para el alumbrado viario proporciona la lámpara de sodio de alta presión cuya comercialización, en el mercado norteamericano, se inició en enero de 1965.

Para coadyuvar a evitar que se condensen los yoduros, el tamaño del tubo o mechero donde se produce la descarga en las lámparas de halogenuros metálicos es de mayor diámetro y más corto (figura 12) que el de las de vapor de mercurio, aunque de tamaño similar, y dado que, normalmente, su ampolla no lleva sustancias fluorescentes se puede conseguir un gran control de la luz, y, como consecuencia, se pueden lograr altos rendimientos en la luminaria, similares a los alcanzados con este último tipo de lámparas y un 10 por 100 superior a los aceptados como buenos en las diseñadas para las de color corregido y, lo que tiene tanta importancia, unas elevadas utilidades.

Los parámetros eléctricos de las lámparas de halogenuros metálicos no son iguales a los de las convencionales de vapor de mercurio, aunque no difieren sustancialmente, y, por ello, el costo de sus accesorios es superior a los de éstas en muchas de las disponible en la actualidad. Esto quizá constituya también un factor limitativo de cierta importancia para su uso, pues al no ser totalmente intercambiables con las de vapor de mercurio convencionales, no puede conseguirse, en la mayoría de los casos, una mejora sensible de la iluminancia de un alumbrado mediante la simple sustitución de la fuente de luz, lo que permitiría, por este método sencillo y económico, el mejorar sus características y, con ello, adecuarla a las siempre crecientes exigencias visuales del tráfico (6).

(5) Cuando se celebró el Seminario, estas características eran sensiblemente inferiores a las seis mil horas el flujo emitido era el 50 por 100 del inicial, en las lámparas de 400 W. En la actualidad, fabricantes ingleses dan como vida media de sus lámparas de halogenuros tres mil horas; firmas alemanas y holandesas, cuatro mil horas; japonesas, seis mil horas, etc. La mayoría de los productores facilitan todavía características muy incompletas de este tipo de lámparas.

(6) Es interesante hacer resaltar que las luminarias para el alumbrado de vías públicas que se fabrican en Europa están diseñadas, normalmente, para lámparas de vapor de mercurio de color corregido y, por ello, la sustitución indicada puede influir negativamente sobre las características de la iluminación, aun cuando se mejorase la iluminancia media. Mayores posibilidades podrían brindar, en este orden, las instalaciones realizadas con luminarias del tipo de las empleadas normalmente en Estados Unidos, pues su sistema óptimo está previsto, mediante una sencilla modificación de la posición del portalámparas, para ser utilizado indistintamente con lámparas de vapor de mercurio de color corregido o sin corregir —de estas últimas hacen un extenso uso en el alumbrado de carreteras por la econo-

CONCLUSIÓN.

Dadas las mejoras técnicas conseguidas en los últimos años en las características de las lámparas de vapor de mercurio convencionales (fig. 13) y la disponibilidad en el mercado de las de halogenuros, y, sobre todo, las de sodio de alta presión (fig. 14), menos complejas que estas últimas —por no citar

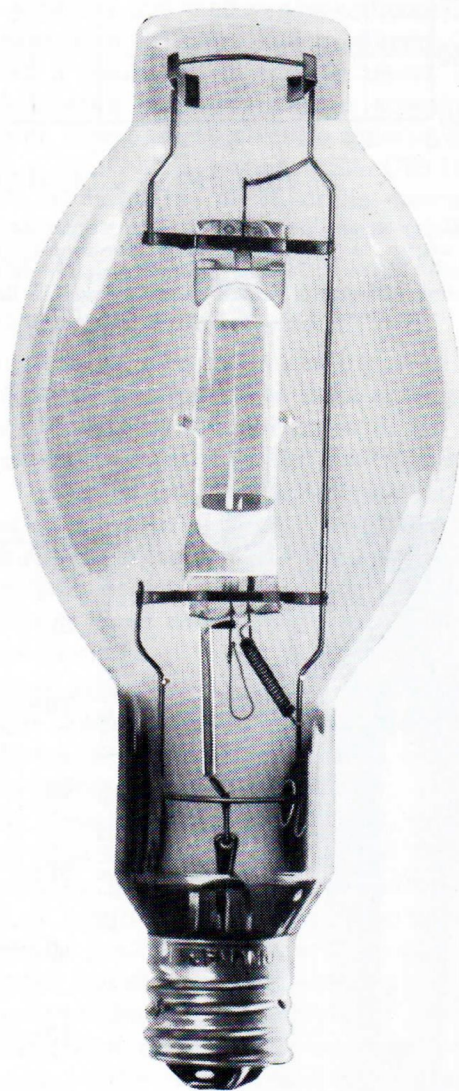


Fig. 12.—Lámpara de halogenuro metálico.

más que lámparas de descarga de dimensiones físicas similares—, el proyectista o realizador de alumbrados viarios ve aumentadas las dificultades de su elección dada la incertidumbre de su posible vida económica y la exigencia de que sea lo suficientemente larga para permitir una aceptable amortización de la instalación.

De ello existe una impresionante y muy desfavorable impresión de su empleo— por lo que las posibilidades potenciales de efectuar la mejora indicada podrían ser más reales.

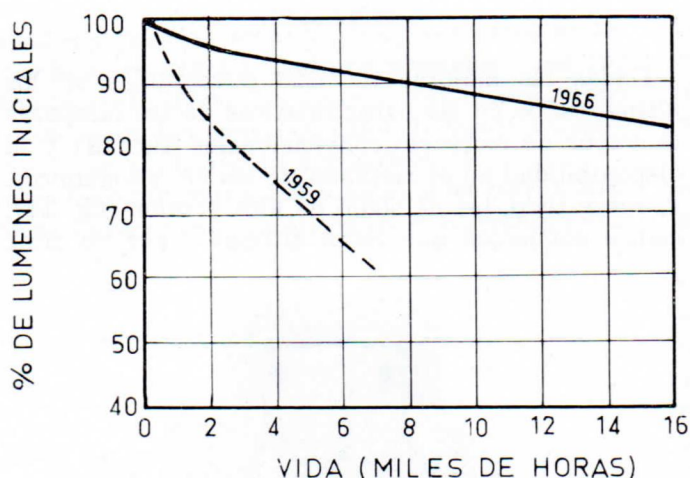
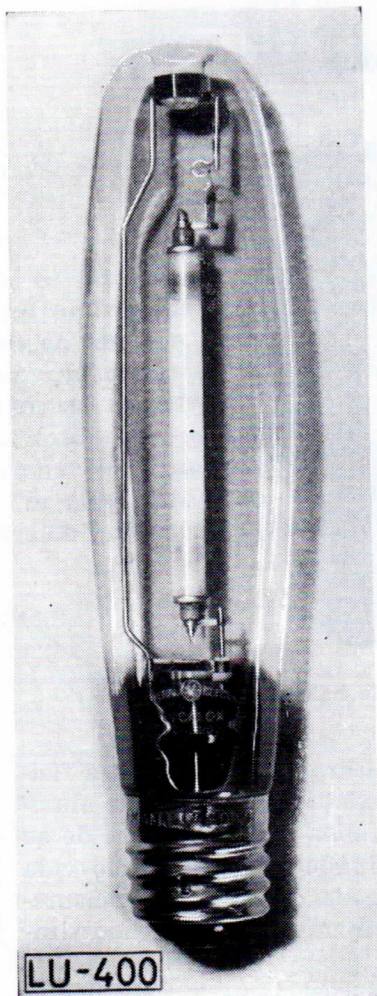


Fig. 13.—Mejoras en las lámparas de vapor de mercurio de 400 W según "I. E. S. Lighting Handbook", tercera y cuarta edición (esta última se publicó después de celebrado el Seminario). La línea continua se refiere a lm totales emitidas y, la de puntos, a lm/W.

vorable experiencia en nuestra nación, y así, hoy puede afirmarse, sin riesgo, que una gran parte de los alumbrados de vías públicas efectuados en los últimos años están totalmente obsoletos, y lo que es mucho más grave todavía, aún se realizan en la actualidad instalaciones con productos cuya vida económica ha transcurrido antes de iniciar su utilización.

En todo caso, la posible obsolescencia de una instalación tiene una especial problemática en España, ya que, con frecuencia, se redactan proyectos de alumbrados de vías públicas varios años antes de su realización, lo que aumenta la dificultad de la elección de los productos que se prevén utilizar. A esto se une que, en el momento de realizar la instalación, exista un tal cúmulo de dificultades de tipo administrativo y, frecuentemente, económico para modificar el proyecto redactado que se comprende la importancia de estas motivaciones como factor



Potencia: 400 W
Flujo inicial: 42.000 Lm.
Lúmenes medios: 92% del inicial

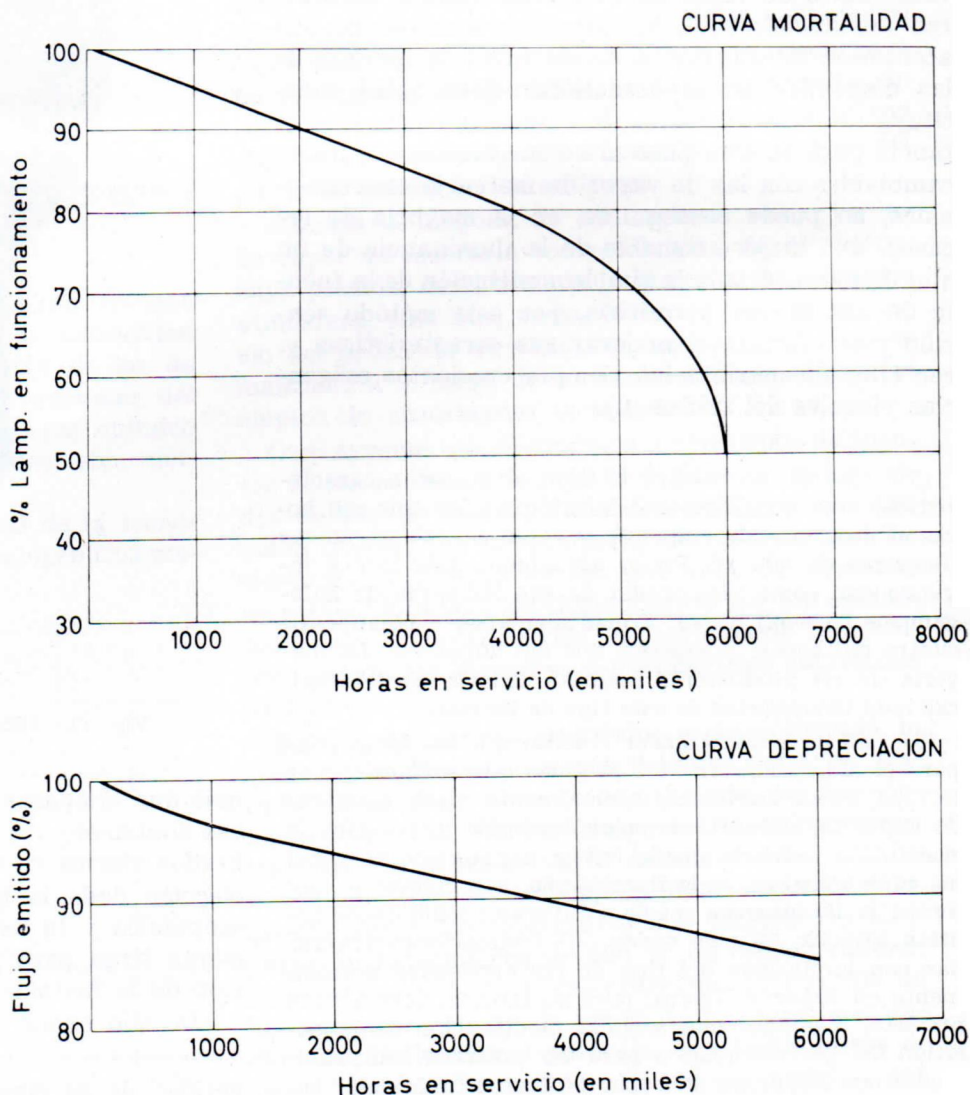


Fig. 14.—Lámpara de sodio de alta presión (lucalox) y sus características principales.

coadyuvante para la implantación de alumbrados de vida económica inadmisibles (7).

Pues bien, tal como se indicó, las características eléctricas de la descarga en las lámparas de vapor de mercurio convencionales son distintas que las correspondientes a las de halogenuros metálicos y, lo que aún tiene mayor importancia, son incluso diferentes las de lámparas fabricadas por distintas firmas, lo que no ocurre con los parámetros eléctricos de las primeras, que están, incluso, normalizados por la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) en su "Publication 188-1965".

Ello puede obligar a utilizar, en la reposición de las lámparas de halogenuros metálicos de una determinada instalación, las producidas por un único fabricante, lo cual, en el estado actual de desarrollo de estas lámparas, aumenta la incertidumbre de su empleo hasta límites poco aceptables.

Las diferencias en las características eléctricas de las lámparas de halogenuros metálicos actuales y las de vapor de mercurio se deben a que, los aditivos, condicionan las características constructivas de las primeras, y, aunque la intensidad y tensión

(7) La obligatoriedad de que los Organismos de la Administración se ajusten a lo especificado en la Ley de Ordenación y Defensa de la Industria —la cual estuvo prácticamente derogada—, y lo que aún tiene más importancia, la recomendación de que se proyecte de acuerdo con la disponibilidad de productos nacionales, puede coadyuvar a que se realicen instalaciones que no alcancen la economicidad ni vida económica que permite la actual tecnología. Pues, por ejemplo, dada la inversión que exige la fabricación de luminarias de calidad, la mayor parte de los fabricantes nacionales han comercializado productos importados, en principio, para conocer la potencialidad del mercado y reducir, de esta forma, la incertidumbre que lleva unida toda inversión. Pero, a pesar de que ya existe una importante demanda de luminarias de alta calidad, consecuencia de su disponibilidad, de la existencia de laboratorios fotométricos y del mayor conocimiento y experiencia de técnicos y usuarios, la coyuntura económica nacional no estimuló su fabricación hasta ahora. En la actualidad, con el cambio de aquella, debido a la nueva paridad de la peseta, al aumento de los derechos arancelarios, que hoy son del 40 por 100, y a la vigencia de la citada Ley, la coyuntura es adecuada para que se fabriquen en España luminarias de alta calidad si no se reducen drásticamente, con una protección excesiva de la producción nacional, las exigencias actuales de la demanda, y, sobre todo, de la futura condicionada decisivamente por los proyectos que se redactan en la actualidad. Algo similar podría indicarse sobre las lámparas de descarga, cuya fabricación, más o menos parcial, en España se inició, siempre, cuando existía ya una interesante demanda real de las mismas por lo que la Ley, al influir decisivamente sobre la tendencia de la demanda, puede retrasar hasta límites inadmisibles la disponibilidad de nuevos tipos de fuentes de luz.

en servicio son iguales a la de las convencionales —el gradiente de la tensión es ligeramente superior en estas últimas—, aquéllas exigen más alta tensión de cebado, como consecuencia de la mayor presión del vapor, y una forma de onda bastante crítica, debido a la rápida desionización en cada semiperíodo.

Por ello existen dos tendencias para conseguir el cebado de las lámparas de halogenuros metálicos de 400 W —potencia que incluyen prácticamente todos los fabricantes en la gama que producen— cuando se conectan a redes con la tensión usual, es decir, 220 V. Así, unas lámparas exigen accesorios que proporcionen tensiones en circuito abierto del orden de 230 V a 10° C —la norma ASA C78.1305-1965 exige para las lámparas de vapor de mercurio convencionales 190 V—, mientras que otras, por incluir un cebador en el circuito, algunas veces incorporado en la lámpara, permite utilizar las reactancias de este último tipo de fuentes de luz.

La utilización de electrodos auxiliares en las lámparas de halogenuros metálicos tiene el inconveniente de que, durante su funcionamiento, las sales líquidas pueden conectarlo con el principal más próximo si, el primero, por rectificación de la corriente, adquiere un potencial negativo, lo que daría lugar a una rápida deteriorización del cierre del tubo por electrolisis, debido a las impurezas contenidas en el cuarzo y, como consecuencia, a una vida muy corta de la lámpara.

Para eliminar este inconveniente en las lámparas en cuyo diseño se incluye electrodo, o electrodos, auxiliares, se siguen dos métodos que algunos fabricantes adoptan simultáneamente; utilizar un interruptor bimetalico (fig. 10), el cual, al calentarse, cortacircuítas aquél con el principal más próximo, o conseguir que la lámpara se coloque de tal forma que, el auxiliar se sitúe en la parte superior. Así se evita la posibilidad de que se ponga en contacto eléctrico con el principal vecino, al condensarse las sales. Por ello, varios fabricantes ofrecen dos tipos de lámparas de halogenuros metálicos para cada potencia, según sea la posición en que se instale, y otros indican que sólo puede usarse la que ofrecen en una específica posición.

La colocación de la lámpara también puede ser crítica por otros dos motivos: por la posibilidad de que los átomos del mercurio y de los aditivos metálicos se separen como consecuencia de sus diferentes pesos atómicos y por la tendencia del arco a inclinarse hacia arriba cuando está en posición horizontal, lo cual justifica la utilización de depresores magnéticos en alguno de los diseños de lámparas de halogenuros.

Algunos fabricantes, para conseguir que la lámpara de halogenuros de 400 W pueda utilizarse con los accesorios de las de vapor de mercurio convencionales, emplean, como se indicó anteriormente, di-

versos tipos de cebadores electrónicos o térmicos que se incorporan a veces en el diseño de la fuente.

Las reactancias que pueden proporcionar la tensión necesaria en circuito abierto para que la lámpara se cebe son del tipo de autotransformador de dispersión o de circuitos resonante —las inductivas no proporcionan tensiones superiores a las de la red y las reguladoras, o de potencia constante (8), no pueden utilizarse dado que la distorsión de la forma de onda puede causar una desexcitación de la lámpara durante el cebado—, siendo las primeras, generalmente, las de menor costo en los casos en que puedan utilizarse cualquiera de aquellos dos tipos de reactancia.

(8) El Reglamento de Suministro de Energía ("Boletín Oficial del Estado" 15-IV-54) admite que la tensión de servicio varíe en un ± 7 por 100 de la nominal. Por ello, si se utilizan lámparas de vapor de mercurio con reactancias de autinducción, el flujo luminoso que emiten podrá reducirse —aun manteniéndose la tensión de la red dentro de lo especificado en el Reglamento— hasta un 73 por 100 del que proporcionaría si se conectase a la tensión nominal, mientras que, con una reactancia reguladora, sólo se bajaría del orden del 2 por 100, lo que hace resaltar lo sorprendente de que este último tipo de accesorio no se comercialice en España. ("For best results in mercury lighting match ballast to system". R. I. Eddy-Plant Engineering, IV, 1964.)

BIBLIOGRAFIA

- "La lámpara de vapor de mercurio a alta presión y sus aplicaciones". PÉREZ CASTIELLA (conferencia no publicada), 1960.
- "Higher efficiency light source through use of additives to mercury discharge". LARSON, FRASER, CUSHING y UNGLERT. *Illuminating Engineering*, VI, 1963.
- "Iodines in mercury arcs for improved color and efficacy". MARTT, SMIALEK y GREEN. *Illuminating Engineering*, I, 1964.
- "Developpement d'une lampe à décharge à iodures métalliques pratiquement utilisable". WEIJER. *Bull. de la Société Française des Electriciens*, II, 1964.
- "Quecksilber-hochdrucklampen mit Jodidzusatz". KÜHL. *Lichttechnik*, núm. 2, 1964.
- Hochdruckentladungslampen mit Metallhalogenidzusätzen". BAUER. *Lichttechnik*, núm. 3, 1964.
- "Characteristics of mercury vapor-metallic iodine lamps". REILING. *Journal of the Optical Society of America*, IV, 1964.
- "Discharge lamp: colour, efficiency and application". RUFF. *Trans. Illuminating Engineering*, núm. 4, 1964.
- "Les lampes a décharge a addition d'halogénures métalliques". DELRIEU y TAXIL. *Lux*, XI, 1964.
- "A new metal halide arc lamp". WAYMOUTH, GUNGLE, HARRIS y KOURY. *Illum. Engineering*, II, 1965.
- "Lampes à iode. Lampes à iodures". DÉRIBÉRE. Ed. Dunod, 1965.
- "High pressure mercury vapour lamps and their applications". ELENBAAS. *Philips Tech. Library*, 1965.