



## NATURALIS

BOLETÍN DEL DEPARTAMENTO DE  
FÍSICA GENERAL Y QUÍMICA

No. 7

Octubre de 2006

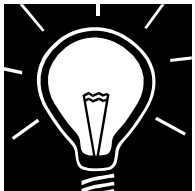
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



### “A 100 AÑOS DE LA LÁMPARA INCANDESCENTE”

(Primera parte)

Recientemente leí un artículo en la revista "IEEE power & energy" de mayo/junio de 2006, que llamó fuertemente mi atención, en la columna "history" normalmente dedicada a la historia de los grandes científicos, ingenieros o sistemas pioneros de la Ingeniería Eléctrica. El título del artículo es "A bright & profitable idea, four decades of Mazda incandescent lamps" cuyo autor es Carl Sulzberger. Como el mismo autor lo sugiere al inicio del artículo, lo primero que me vino a la mente fueron los automóviles y lo segundo fue la pregunta ¿ qué tiene que ver Mazda con la historia de las lámparas incandescentes ?



Con la curiosidad despertada, leí rápidamente el artículo y descubrí que no tienen mucho que ver los autos Mazda y las lámparas incandescentes, pero la historia me resultó tan interesante y tan ilustrativa que me permitiré compartir con ustedes algunos datos que me parecieron interesantes de este artefacto que familiarmente llamamos "foco" y que como lo anuncia el artículo fue una brillante y muy rentable idea.

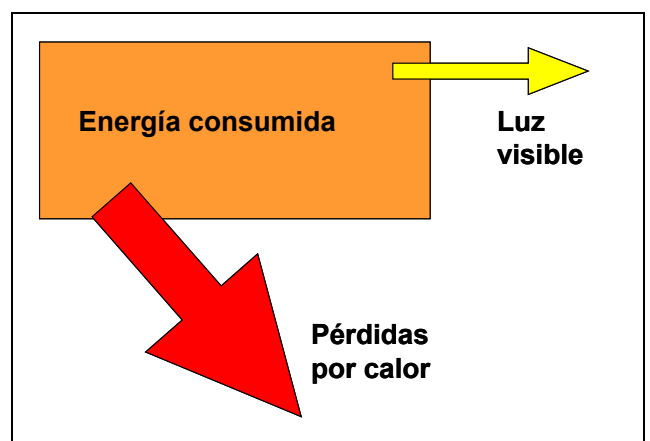
Entre 1898 y 1904 se producen y comercializan las primeras lámparas con filamentos incandescentes, con eficiencias desde 3.5 lúmenes por watt (lm/W) hasta 5.5 [lm/W], con temperaturas en los filamentos que no iban más allá de los 2000 °C y con vida útil alrededor de las 600 horas. Para efectos de comparación, las lámparas incandescentes actuales alcanzan eficiencias entre 7.5 y 20 [lm/W], como se muestra en la tabla siguiente:

	<b>Lámparas con gas</b>	<b>Lámparas de vacío</b>
<i>Temperatura del filamento</i>	2500 [°C]	2100 [°C]
<i>Eficiencia luminosa de la lámpara</i>	10-20 [lm·W <sup>-1</sup> ]	7.5-11 [lm·W <sup>-1</sup> ]
<i>Duración</i>	1000 horas	1000 horas
<i>Pérdidas de calor</i>	Convección y radiación	Radiación

Los datos que se muestran en la tabla anterior deben llamar poderosamente nuestra atención; en primera instancia las temperaturas tan altas de los filamentos y en segunda la baja eficiencia de estas lámparas. En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. Esto último es lo que hará que caigan en desuso las lámparas incandescentes, pero la producción de luz mediante incandescencia tiene una ventaja y es que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible o dicho de otra manera, su espectro de emisiones es continuo. De esta manera se garantiza una buena reproducción de los colores de los objetos iluminados.

### **Los inicios de la incandescencia.**

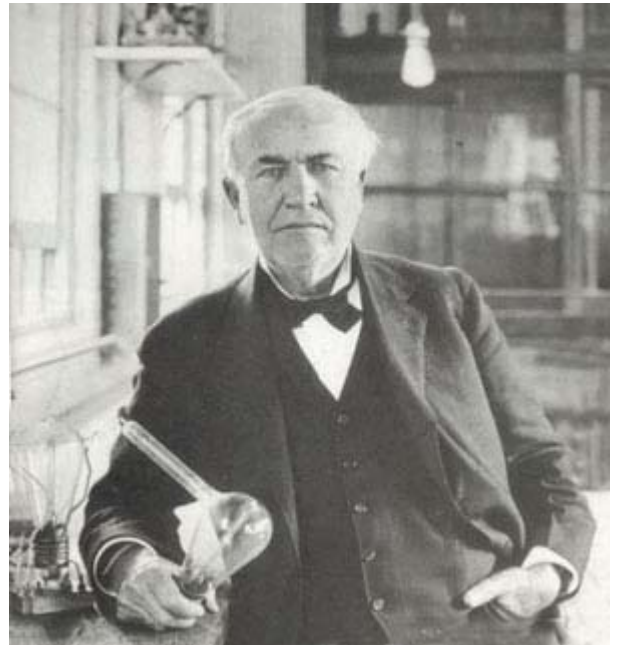
El desarrollo de este dispositivo tan "simple" que llamamos foco, promovió importantes investigaciones en ciencia y tecnología. Todo comenzó, nos relata Carl Sulzberger, en la década de 1820 en Europa y Norteamérica cuando se



comenzó a investigar la intrigante luminosidad incandescente. Se concluyó de manera generalizada que el éxito de la luminosidad incandescente radicaba en dos aspectos esenciales: a) la creación de un alto vacío en un recipiente cerrado de vidrio y b) desarrollar un filamento estructuralmente fuerte, de gran durabilidad que pudiera mantenerse incandescente en el vacío cuando fuera calentado por la electricidad a altas temperaturas.

Alrededor de 1870, el primer desafío fue suficientemente resuelto mediante el uso de las recientemente desarrolladas bombas de vacío de mercurio (desarrollo de muchos científicos e investigadores que estudiaban los fenómenos a presiones bajas y muy bajas), pero el material adecuado para el filamento seguía siendo todo un reto. Los experimentos estaban centrados en el platino y otros metales, así como en varios materiales carbonizados.

En agosto de 1878, Thomas A. Edison comienza sus trabajos en luminosidad incandescente uniéndose así a un considerable grupo de investigadores en ambos lados del Atlántico que ya llevaban varios años dedicados a la incandescencia. En sus experimentos iniciales, Edison utilizó tiras de papel carbonizado dentro de un vacío parcial, a



continuación ensayó con filamentos de platino y de aleaciones de platino-iridio, que desechó por su bajo punto de fusión (1775 °C). Después de trabajar con tungsteno determinó que era extremadamente duro y poco maleable para construir sus filamentos y regresó su atención a los filamentos de materiales carbonizados. Finalmente en octubre de 1879 alcanza el éxito con una lámpara elaborada con un filamento carbonizado, de un hilo de algodón para costura del número 9, que se mantuvo encendida por 13 horas.

Mientras que muchos otros investigadores apostaban por filamentos de resistencia eléctrica baja y conducción de corrientes eléctricas altas, Edison dedujo que el filamento debía tener alta resistencia eléctrica y conducir corrientes eléctricas pequeñas, para lograr una durabilidad alta. Así en 1881 logra producir lámparas con una vida útil de alrededor de 600 horas. Edison afirmó que probó alrededor de 6000 filamentos de diferentes materiales antes de hallar los filamentos de bambú carbonizado con los

que construyó sus lámparas de larga duración. Estos filamentos de carbón permanecieron como el estándar por al menos un par de décadas.

En la segunda parte, hablaremos acerca de los filamentos de tungsteno y cómo se desarrollaron hasta los que actualmente conocemos, de los desarrollos paralelos y futuros y de lo que tiene que ver Mazda con las lámparas incandescentes.

## REFERENCIAS.

- a) Carl Sulzberger, "A bright & profitable idea, four decades of Mazda incandescent lamps" IEEE Power & Energy Magazine, Vol. 4, N. 3, May/June 2006.
- b) "Lighting a Revolution," Smithsonian Institution [Online]. Available: <http://www.americanhistory.si.edu/lighting>
- c) "The Antique Christmas Light Site" [Online]. Available: [http://www.oldchristmaslights.com/the\\_mazda\\_lamp\\_story.htm](http://www.oldchristmaslights.com/the_mazda_lamp_story.htm)
- d) <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/lincan.html>

*Ing. Martín Bárcenas Escobar (martin\_b\_e@yahoo.com.mx)*

*Prof. de Carrera Titular "A" de Tiempo Completo en el Área de Física General  
de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

---

## **"DE LA MEDIDA DE LA TIERRA A LA TIERRA COMO MEDIDA"**

En los albores de la Revolución Francesa se inició una aventura intelectual y científica de capital importancia: la instauración del sistema métrico decimal cuya base es el metro. Ofrecido por la Revolución Francesa, a todos los hombres y a todos los tiempos, el metro se ha convertido en el señor de la medida del mundo.

Para la creación de esta medida, los astrónomos Pierre-François-André Méchain y Jean-Baptiste-Joseph Delambre partieron en direcciones opuestas con el objetivo de medir el meridiano entre Dunkerque y Barcelona para que, con este resultado, se determinara la medida del metro como la diezmillonésima parte de la distancia entre el Polo y el Ecuador, medida que desde entonces se utiliza en casi todo el mundo.

Lo que ni los partidarios ni los adversarios del sistema métrico podrían imaginarse es que hay un error secreto en el corazón del sistema, un error que se perpetuó en todas las definiciones posteriores del metro. De acuerdo con las observaciones que es posible hacer hoy por satélite, la longitud del meridiano desde el Polo al Ecuador es igual a 10 002 290 metros, es decir, que el metro que calcularon Delambre y Méchain se quedó unos 0.2 milímetros corto, más o menos el grosor de dos páginas de este boletín.

¿Pero por qué una medida patrón debe ser tan complicada de obtenerse?  
¿No es mucho más fácil tomar una viga de madera, de metal o un segmento de una estructura y bautizarla como el patrón para la medición de la longitud?

Hacia 1788, en Europa, las mediciones de pesas y medidas eran un verdadero caos, ya que de una provincia a otra, en un mismo país, variaban los patrones de referencia; tan sólo en Francia había casi dos mil tipos diferentes de medidas. Los recaudadores de impuestos aprovechaban muy bien esta situación para cometer abusos, ya que en algunos casos sus patrones de medida eran de diferente tamaño que las que se utilizaban comúnmente, por ejemplo una libra de los recaudadores era ligeramente más grande. Los científicos de esta época opinaban que mientras cada provincia fuese medida con su propia medida, no se puede hablar de “unidad”, si se consigue que todo se mida con el mismo patrón, el plural dejará paso al singular y se podrá pasar del concepto de “los pueblos” al de “Pueblo”. Lo que se buscó, entonces, es igualdad de los hombres ante las medidas para abolir privilegios e instaurar igualdad entre los ciudadanos.

Lograr la tarea de unificar la variedad de pesos y medidas no fue tarea sencilla, ya que no es fácil que una unidad de origen nacional, por ejemplo una que se basa en las medidas de un rey, la acepte otro pueblo; por otra

parte, si los patrones originales llegaban a perderse, no podrían volverse a utilizar. En este entendido las nuevas medidas deben ser universales y eternas, para que sean aceptadas por todas las naciones, no deben ser arbitrarias ni aisladas, ni depender de ninguna nación particular, es decir, deben ser tomadas de la naturaleza.

Una propuesta, que no prosperó, fue tomar como unidad de longitud la del péndulo cuya oscilación dura un segundo, algo así como basarse en “la longitud de un segundo”, en otras palabras, poner el tiempo como unidad de base y que la longitud dependa del tiempo. Sin embargo se vio que es posible tener una unidad de longitud que no dependa de ninguna otra cantidad física. Esta unidad podía ser la Tierra misma.

¿Cómo se definió el metro? En realidad la definición está compuesta por dos frases: la segunda enuncia que “la unidad usual de medida es la diezmillonésima parte del cuarto de meridiano terrestre; la primera proclama que “la unidad real de medida es el cuarto de meridiano terrestre”. Así, en 1792 los astrónomos Delambre y Méchain partieron de París, el primero con dirección norte, hacia Dunkerque y el segundo con dirección sur, hacia Barcelona con el objeto de medir el meridiano que pasa por París. Para ello se basaron en un método, inventado por el holandés Willebrord Snellius, a comienzos del siglo XVII que proporciona independencia de la medida con respecto de las variaciones del terreno, este método se conoce como triangulación. La medida del arco no se hace por abajo, siguiendo el terreno, para medir longitudes, sino por arriba, en el aire, para medir los ángulos. Si conocemos dos ángulos y un lado de un triángulo, conocemos todos sus lados. Este resultado sobre el que se apoya el método induce a no efectuar más que una sola medida lineal (la de la base) y una serie de medidas angulares, su puesta en práctica consistió en cubrir el arco de meridiano con una cadena de triángulos.

Este procedimiento requiere una gran cantidad de mediciones por lo que no es extraño que, aunque ambos científicos eran muy minuciosos,

podiera haber la posibilidad de un error. A punto de terminar sus mediciones y reunirse con Delambre para determinar la medición del meridiano, Méchain encontró un error en sus cálculos y presa del pánico lo ocultó. Las angustias de Méchain, sus temores y su sensación de incomodidad se evaporaron una vez que ajustó sus lecturas para que no se notase su error, error que por cierto, el mismo Méchain comentó que, probablemente, se debió a un tornillo flojo del anteojo inferior de su aparato de medición llamado círculo de Borda.

Siete años después del inicio de esta proeza intelectual, el 22 de junio de 1799 se presentó en una gran ceremonia una barra de platino cuya longitud era de un metro, medida basada en el tamaño de la Tierra para que todo propietario de tierra se convirtiera en un copropietario del mundo, según lo expresó Laplace en dicha ceremonia.

Años más tarde, una vez que la longitud del metro ya se había hecho pública, Delambre descubrió una discrepancia entre los resultados obtenidos por su compañero, e inclusive detectó que había suprimido y alterado datos para encubrir la diferencia.

Delambre prefirió echarle la culpa a la Tierra. El proyecto de la medición del meridiano había confirmado que la forma de la Tierra era irregular y que no todos los meridianos eran iguales. Descubrió que incluso volviendo a calcular los resultados con base en los datos de su colega la discrepancia persistía.

Veinticinco años después de la muerte de Méchain un joven astrónomo llamado Jean-Nicolas Nicollet mostró cómo existía la posibilidad de que no hubiese ninguna discrepancia significativa, es decir, que el error no estuviese en la naturaleza ni en el método de observación de Méchain, sino en la forma que había tenido éste de interpretar el error. Méchain y sus contemporáneos no llegaron a establecer una distinción de principios entre precisión y exactitud, es decir, no llegaron a darse cuenta de que esa

misma repetición reforzaba la precisión pero podía estar disminuyendo la exactitud.

Más que equivocarse, Méchain había interpretado mal lo que significa “error”, pero con su interpretación equivocada había contribuido involuntariamente a nuestra comprensión del error, modificando para siempre lo que significa hacer ciencia. Y Delambre no paró ahí: informó que el metro era exacto sólo dentro de un margen del 0.01 por ciento.

Para algunos científicos, a pesar de todo, la misión épica de Delambre y Méchain tuvo éxito... no porque hubiese producido resultados exactos, sino porque era épica.

## **REFERENCIAS.**

- a) Alder, Ken *La medida de todas las cosas*; Editorial Taurus, Colombia, 2003.
- b) Guedj, Denis *El metro del mundo*; Editorial Anagrama, Barcelona, 2003.

*Ing. Rigel Gámez Leal*  
*Jefe del Departamento de Termodinámica en la DCB*  
*de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

---

## **STAHL Y EL FLOGISTO**

A principios del siglo XVII la naturaleza del fuego permanecía oculta. Se sabía o se creía que una sustancia ardía cuando contenía una gran cantidad de flogisto. Nadie entendía lo que era realmente el flogisto. Unos pensaban que era un gas, otros que era una sustancia que no podía obtenerse aislada. A pesar de no saber qué era, todos los químicos del momento creían en su existencia. El flogisto era la sustancia inflamable que desaparecía cuando había fuego, y que era necesaria para que éste se encendiera. Cuando el carbón ardía, se decía que todo el flogisto se había ido del carbón al aire y había dejado tan sólo cenizas.<sup>1</sup>



El creador de la teoría del flogisto fue Georg Ernst Stahl (1660-1734). Nació en Ansbach, en Franconia, el 21 de octubre de 1660 y murió en Berlín el 14 de mayo de 1734. Creció bajo la influencia del Pietismo, un vigoroso movimiento hacia la reforma moral en la Iglesia Luterana que había comenzado a diseminarse por Alemania. Estudió medicina en Jena, donde trabó fuerte amistad con un colega estudiante, Friedrich Hoffmann (1660-1742). Su profesor, Georg Wolfgang Wedel (1645-1721) era uno de los defensores de la escuela iatroquímica (interpretación de los fenómenos biológicos como procesos químicos). Aún cuando Stahl abrió nuevos caminos en la química y la medicina, su entrenamiento con Wedel le dejó siempre la firme creencia en la unidad esencial de la vida y de los procesos químicos. Stahl se graduó en 1684, habiendo comenzado a enseñar un año antes. En 1687 fue nombrado médico de la corte de Johann Ernst, Duque de Sachsen-Weimar <sup>2</sup> (En español se llama Sajonia Weimar, es un ducado -en alemán Herzogtum- de Alemania ubicado en la actual Turingia –Thüringen- y que fue regido por una sucesión de duques - en alemán Herzog- de nombre Ernesto –Ernst-, de los que varios se llamaron Juan Ernesto).



**Georg Ernest Stahl (1660-1734)**  
(University of Pennsylvania. SCETI. Smith Collection)<sup>3</sup>

En 1694, Frederick III, Elector de Brandenburgo, fundó la Universidad de Halle. Hoffmann fue el encargado de organizar la escuela médica de la nueva universidad, e invitó a Stahl para colaborar con él. En los siguientes veinte años los dos trabajaron juntos. Stahl enseñaba medicina teórica, fisiología, patología, dietética, farmacología y botánica. Hoffmann daba

clases de medicina práctica, anatomía, física y química. Pero gradualmente se fueron separando debido a sus visiones divergentes de algunas cuestiones teóricas. Hoffmann se volvió un ardiente convertido a la nueva escuela iatromecánica y del mecanicismo y Stahl no podía aceptar esa escuela materialista. Permaneció fiel a su formación iatroquímica, entendiendo siempre los procesos vitales como cambios químicos, insistiendo que ni mecanismos ni leyes mecánicas por sí solas, podían explicar el fenómeno de la vida. Para vivir, un organismo requería la dirección de una fuerza que Stahl llamaba de *anima*, por eso su teoría era llamada animismo. Las contribuciones de Stahl a la ciencia son fieles reflejos de su personalidad: era contemplativo, melancólico y muy inclinado al Pietismo autodirigido de finales del siglo XVII. Su intelecto, por otro lado, era analítico y abarcante, lo llevaba a efectuar grandes abstracciones. Stahl fue realmente un puente entre dos siglos, como su teoría del flogisto, que desarrolló en 1702, para poder explicar la combustión.<sup>2</sup>

- El flogisto (del griego phlox = llama) es la propiedad de ser combustible, que se pierde en el proceso de combustión pero que puede recuperarse por medio de materiales ricos en flogisto, tales como el carbón<sup>2</sup>. El flogisto o principio inflamable, descendiente directo del "azufre" de los alquimistas y más remoto del antiguo elemento "fuego", es una sustancia imponderable, misteriosa, que forma parte de los cuerpos combustibles.<sup>3</sup>
- El flogisto puro no puede aislarse, sea en fase sólida, líquida o gaseosa, a pesar de que el humo que escapa de la combustión de aceites se forma en gran parte por el flogisto.<sup>2</sup>
- Los cuerpos fácilmente inflamables, como los aceites, el carbón, el azufre, el fósforo y las grasas, son ricos en flogisto<sup>4</sup> y permiten conferir ese principio ígneo a los cuerpos carentes de éste, "Materia aut principium ignis, non ipse ignis" ("Materia: origen del fuego, no el fuego mismo"), remarca Stahl.<sup>2</sup>
- Cuando un cuerpo arde o un metal se calcina, su flogisto escapa, dejando como residuo un cuerpo que, antes de la combustión

formaba un compuesto con el flogisto. Así, el ácido sulfúrico está contenido en el azufre, el ácido fosfórico en el fósforo, etc.

- Cuanto más flogisto tuviese un cuerpo, mejor combustible es. Los procesos de combustión suponen la pérdida del mismo en el aire. Lo que queda tras la combustión no tiene flogisto y, por tanto, no puede seguir ardiendo. El aire es indispensable para la combustión, pero con carácter de mero auxiliar mecánico.<sup>1</sup>
- Cuando se calienta un cuerpo rico en flogisto con otro que está privado de él, el flogisto pasa del primero hacia el segundo y confiere a éste su combustibilidad.

Con esta teoría, Stahl intentó explicar la combustión de la materia orgánica, la obtención de los metales por fundición y la descomposición de la piedra caliza para producir cal viva, tres reacciones de gran importancia



El carbón era rico en flogisto <sup>5</sup>

económica. Como la combustión siempre se había considerado una descomposición, Stahl propuso que lo que se perdía durante la combustión era el flogisto, una sustancia real que se transfería de un material a otro. En la fundición, un mineral que se llevaba al fuego junto con carbón se transformaba en un metal porque el flogisto se transfería del carbón al mineral.

Durante la calcinación, cuando un metal se calentaba en presencia de aire, se convertía en un polvo, o cal, porque había perdido su flogisto. Así la calcinación y la fundición eran reacciones reversibles de intercambio de flogisto. La teoría fue todo un éxito al ofrecer explicación a estos fenómenos, pero la teoría no podía explicar algunos fenómenos, por ejemplo, al calcinar un metal, su masa aumentaba ¿cómo era esto posible si el metal estaba perdiendo flogisto? Ante la poca reproducibilidad de las balanzas de entonces se argumentó que ese aumento no era cierto, .La siguiente respuesta fue asignar al flogisto una masa negativa, de modo que al perder flogisto, el metal ganara masa. Esta explicación no funcionó con el carbón, que al quemarse generaba una

ceniza de masa mucho menor a la original. El problema no se resolvió sino hasta mucho después, cuando un francés, Antoine Lavoisier destruyó la teoría del flogisto.<sup>1</sup>

Stahl describió sus experimentos en 1718 en su obra *Zufällige Gedanken und mögliche Bedenken über den Streit vom sogenannten Sulphure* (que podría traducirse como: "Imprevistos pensamientos y posibles reflexiones en torno al debate de eso que llaman azufre"). Su teoría duró casi un siglo y sirvió para que la química entendiese posteriormente las reacciones químicas.<sup>2</sup>

## REFERENCIAS.

1. Garritz Ruíz, Andoni; Gasque Silva, Laura; Martínez Vázquez, Ana *Química Universitaria*, pp 269, 624-625; Pearson Educación, México, 2005.
2. Papavero, Nelson; Pujol Luz, José Roberto; Llorente Bousquets, Jorge *Historia de la Biología Comparada. De Descartes a Leibniz (1628-1716)*, Vol. IV, pp.52-54; UNAM, México, 2001.
3. <http://perso.orange.fr/ours.courageux/phlogis.htm>
4. <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0314-01/flogisto.htm>
5. <http://www.gifmania.com/fuego/hogueras/>

*Ing. Gerardo Pacheco Hernández*  
*Jefe de Sección Académica de Termodinámica en la DCB*  
*de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

---

*El hombre persigue solo fantasmas*  
Pierre Simon de Laplace

---

<http://dcb.fi-c.unam.mx/boletines/Fisica/index.phtml>  
[naturalis777@yahoo.com.mx](mailto:naturalis777@yahoo.com.mx)