

Así pues, los experimentos de Melloni, Smyth, lord Ross, Marié-Davy y Baille demuestran, sin ningún género de duda, que en la superficie de la Tierra se siente la acción calorífica de la Luna.

No se sabe con exactitud cuál es la naturaleza de los materiales que componen el suelo lunar; pero, cualquiera que sea, es probable que tenga alguna analogía con la de las rocas terrestres. No hay sin embargo que olvidar que la Luna no tiene atmósfera ó, si tiene alguna, que está extraordinariamente enrarecida; de todos modos, el cielo está allí siempre enteramente despejado, y por lo tanto la radiación solar se efectúa en la Luna con gran intensidad. Aun suponiendo que el suelo lunar sea de gran poder difusivo, el absorbente debe producir en cada punto una elevación de temperatura considerable, si se tiene en cuenta que los rayos del Sol le hieren sin interrupción por espacio de 350 horas en cada intervalo de una lunación. Sir John Herschell opinaba que esta temperatura era muy superior á la del agua hirviendo. Según los cálculos de Harrison, llega á su máximo durante el cuarto menguante. Comparando Althaus la capacidad que tiene la Luna para el calor con la del cuarzo, estimaba aproximadamente su temperatura en 840° F, ó 449° centígrados, que es la de fusión del cinc. Si el calor así acumulado, en razón de la naturaleza de sus radiaciones, apenas es perceptible en la superficie del suelo de la Tierra, falta saber si su absorción por nuestra atmósfera es capaz de modificar el estado del tiempo; pero de esto nos ocuparemos cuando estudiemos los fenómenos meteorológicos.

Para acabar de pasar revista á todos los manantiales de calor de origen cósmico que ejercen ó pueden ejercer alguna influencia en el estado térmico de nuestro globo, podríamos hacer también mención de los planetas, los cometas, los bólidos y las estrellas fugaces. La dificultad con que han tropezado los físicos para comprobar el efecto que producen los rayos caloríficos lunares, basta para que se comprenda cuán quimérico sería el tratar de averiguar la cantidad de calor extraordinariamente débil que reflejan hacia nosotros los discos planetarios, cuyas dimensiones son tan pequeñas y sus distancias á la Tierra tan grandes. Por lo que hace á los cometas, su luz parece producida en parte por una incandescencia propia de la materia de que están formados sus núcleos, y por consiguiente, en el caso de que su movimiento los trajese á muy corta distancia de nuestro globo, sería posible que se notara su proximidad en la temperatura de la Tierra; mas á pesar de cuanto se ha dicho de su influencia por este concepto, no se ha advertido aún ningún efecto sensible que pueda en rigor atribuirse á una acción calorífica especial. Las estrellas fugaces y los bólidos se hallan en diferente caso; son cuerpos que no se hacen visibles sino cuando penetran en nuestra atmósfera; á ello se debe sin duda su incandescencia, y únicamente en tal momento son para nosotros manantiales de calor. Es probable que en las grandes apariciones de estos meteoros, cuando en una misma noche cruzan á millares el espacio, esta brusca producción de calor en las altas regiones del aire sea bastante intensa para modificar la temperatura atmosférica. Pero todavía no sabemos de ninguna observación precisa sobre este punto de meteorología y de física celeste.

Por último, podríamos mencionar asimismo, como manantial propio para influir en la temperatura de la superficie del globo, el calor interior peculiar de éste. Sábese que á cierta profundidad hay una capa cuya temperatura constante es poco más ó menos la media del lugar. Debajo de esta capa la temperatura crece, siendo el promedio de su aumento de un grado por 30 metros. Si este aumento de calor, que se ha comprobado hasta más de 700 metros de profundidad, continúa en las capas más hondas en la mis-

ma proporción, á 3 kilómetros se deberá encontrar ya la temperatura del agua hirviendo, y á 40 kilómetros la mayor parte de las materias minerales conocidas deberán llegar á su punto de fusión. Falta, sin embargo, saber si la enorme presión que soportan las capas terrestres, á partir de esta profundidad, no es un obstáculo para su licuefacción, por lo cual la incandescencia del núcleo terrestre continúa en estado de hipótesis. Más adelante volveremos á tratar de este interesantísimo problema.

## CAPÍTULO XV

### LOS MANANTIALES DE CALOR

#### I

##### CALOR DESARROLLADO POR LAS COMBINACIONES QUÍMICAS. — LA COMBUSTIÓN

El Sol es el manantial de calor más abundante y económico; pero no el más cómodo, puesto que no podemos disponer de él á nuestro antojo, y precisamente cuando el astro se oculta ó sus rayos son menos fuertes es cuando más necesidad de calor tenemos; ni el más intenso, por cuanto, á no concentrarlo mediante aparatos dispendiosos, sólo produce temperaturas relativamente débiles. Por lo tanto, se puede asegurar que la civilización hubiera sido imposible si el hombre sólo hubiese tenido á su disposición el calor solar, y no hubiera encontrado en lo que se llama manantiales artificiales de calor con qué atender á las necesidades más indispensables de su existencia. La combustión viva, es decir, la combinación química de ciertos cuerpos con el oxígeno, es lo que principalmente constituye esta clase de manantiales, procediendo el nombre de manantiales ó focos artificiales de que el hombre puede utilizarlos á su albedrío y regular su intensidad según las necesidades del momento.

Por lo general, siempre que dos cuerpos se combinan, se desprende calor. Por ejemplo, una mezcla de agua y de ácido sulfúrico, ó de agua y cierta cantidad de cal viva va acompañada de una elevación de temperatura bastante grande, aunque no lo suficiente para producir luz. Por lo común es la combinación del oxígeno, uno de los gases constitutivos del aire, con ciertos cuerpos simples, la que, motivando un intenso desprendimiento de calor acompañado de luz, da lugar al fenómeno de la combustión viva. Mas para que un cuerpo combustible pueda arder, ya al aire libre, ya en el oxígeno puro, es preciso comunicar á uno de sus puntos una temperatura elevada; en otros términos, es preciso encenderlo. Comenzada ya la combustión, el calor que desprende se comunica cada vez más hasta que se consume del todo el gas comburente, ó hasta que el cuerpo con el cual se combina se ha consumido á su vez enteramente. Así es como obtenemos la lumbre de nuestros hogares, la luz de nuestras bujías y lámparas; y sabemos por experiencia que estos manantiales de luz y calor sólo duran mientras se les alimenta, esto es, mientras se les proporciona los dos elementos de la combustión.

Fácil es comprobar el cometido del oxígeno en la combustión al aire libre, mediante experimentos que cualquiera puede hacer. Si se llena de agua un plato en el cual



descanse una bujía encendida, y se cubre ésta con una campana ó fanal cuyos bordes penetren en el líquido, al punto se observa una disminución de brillo en la llama, que acaba por apagarse. Lo que prueba que esta disminución de brillo y la extinción consiguiente consisten en la desaparición progresiva del oxígeno contenido en la campana, es que el nivel del agua se eleva dentro de ésta sobre el de la del plato, por efecto del exceso de presión del aire exterior sobre el aire privado de una parte de su oxígeno. Nótase el mismo fenómeno si debajo del recipiente de la máquina neumática se pone la bujía encendida, ó cualquier otro cuerpo en ignición, como brasas de carbón; pues á medida que se hace el vacío, disminuye la intensidad de la llama, palidece y acaba por apagarse; y las brasas se ennegrecen y se apagan también. En cambio se aviva la combustión cuando se renueva el aire puesto en contacto con un cuerpo en ignición, lo

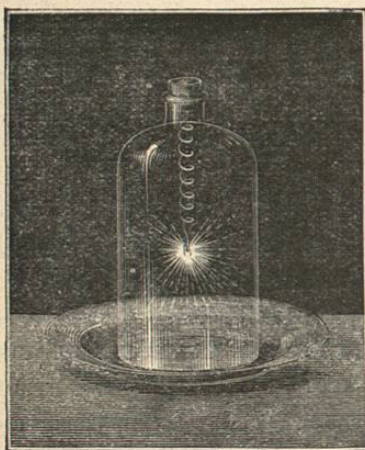


Fig. 651.—Combustión del hierro en el oxígeno

cual se hace soplando con un fuelle en su superficie, ó activando el tiraje en la chimenea ó el hornillo que lo contiene.

Así pues, cuando la combustión ocurre en el oxígeno puro, es mucho más viva que al aire libre, y una bujía, una cerilla apagadas, se encienden de nuevo y arden con vivacidad, con tal que haya quedado en ellas la menor partícula incandescente, si se las introduce en una probeta llena de dicho gas. Metiendo en una campana de vidrio llena de oxígeno un alambre de acero en espiral que lleve un pedazo de yesca inflamado (fig. 651), resulta una incandescencia muy viva del metal, que despidе multitud de chispas en todos sentidos. El calor desprendido en esta combinación de hierro y oxígeno es tan intenso, que las partículas incandescentes de óxido de hierro

que resultan y que saltan como acabamos de decir, se incrustan en las paredes de la vasija de vidrio. Si recordamos que la temperatura de fusión del vidrio sólo es de 700° á 800°, al paso que la del acero está comprendida entre 1300° y 1400°, no nos causará extrañeza esta circunstancia.

El fenómeno de la combustión es complejo, y el aspecto así como la composición de las diferentes partes de un gas en ignición, ó lo que es lo mismo, de una llama, varían según la naturaleza del gas: la llama puede ser más ó menos luminosa en sus distintas partes y de color vario. He aquí algunos detalles interesantes acerca de este asunto, tomados de un artículo del *Diccionario de química*, de Wurtz:

“El eje de la llama se compone casi exclusivamente de gas que no arde y frío. Alrededor de este eje hay zonas concéntricas que contienen cantidades cada vez mayores de gas exterior, el cual es frío también; y por consiguiente, la temperatura de las capas intermedias varía de modo que presenta un máximo. ¿Varía con regularidad? En la llama de los gases simples es verosímil, pero en la de los gases ó vapores complejos varía dando saltos más ó menos bruscos....”

„Tomemos como ejemplo la llama de una bujía (fig. 652). El vapor de ácido esteárico ocupa el centro obscuro de la llama C; la temperatura es poco elevada, porque todo el calor suministrado por la envolvente incandescente lo absorbe la volatilización del combustible, pudiendo meterse en ella un grano de pólvora sin que se prenda fuego. Alrededor de este núcleo frío y no luminoso la combustión ocasiona una elevación

de temperatura extraordinaria; el ácido esteárico sufre entonces las transformaciones pirogenadas por que pasaría en un tubo calentado al rojo blanco: fórmase una serie de carburos muy condensados y muy poco hidrogenados hasta el mismo carbono, y al propio tiempo se produce hidrógeno y varios gases, entre los cuales se puede notar fácilmente el acetileno. Todos estos productos transitorios llegan en breve á las zonas

en que el oxígeno del aire penetra más y más abundantemente, arden en parte formando óxido de carbono, ácido carbónico y agua, y se resuelven parcialmente en carbono é hidrógeno, los cuales se queman á su vez. El carbono llega á la incandescencia en el momento de su separación A, y produce una luz muy viva, y el hidrógeno rodea la llama luminosa de una capa B casi oscura, pero sumamente caliente. Frankland ha demostrado que no es necesaria la presencia del carbón incandescente en la zona luminosa para explicar su brillo; pero el depósito de negro de humo que se forma en la superficie de los objetos introducidos en ella, y el estudio de todas las reacciones pirogenadas, parecen probar hasta la evidencia la separación real del carbón en esta parte de la llama. Por otra parte, si en la llama poco luminosa del alcohol se hace penetrar un gas capaz de dar oxígeno á un depósito de carbón, por ejemplo un poco de cloro, éste se vuelve instantáneamente lumínico. Fácilmente se distinguen las diferentes capas de que acabamos de hablar en la llama de una bujía, para lo cual basta atravesar por su parte media una tela metálica. En la base de la llama hay un casquete de color azul puro D, que no hemos tenido en cuenta, y que corresponde á la reacción de un ex-

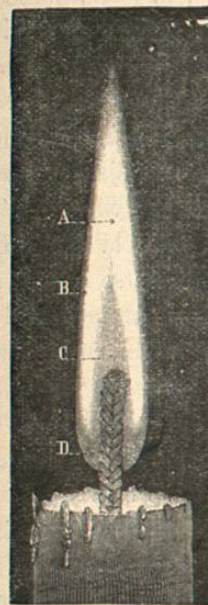


Fig. 652.—Estructura de la llama de una bujía

ceso de aire puro sobre el gas hidrocarbonado. El análisis espectral da á conocer en él la presencia del vapor de carbono.

„Faraday ha ideado un bonito experimento para demostrar la presencia de los gases incombustibles en el núcleo obscuro de la llama de una bujía. Introdúcese en esta llama el extremo de un tubo doblado como se ve en la figura 654, de un diámetro interior de 7 milímetros próximamente y lo suficientemente delgado para que el calor no lo rompa; por este tubo se elevan varias sustancias que se volatilizan, se enfrían en el brazo descendente y caen en la redoma en forma de corrientes de humos muy densos, blancos é inflamables si el orificio del tubo está á algunos milímetros de la torcida. Si este orificio está metido en la parte lumínica, son negros, no inflamables y mezclados con carbón; y si en contacto con la torcida, casi únicamente formados de ácido esteárico.,”

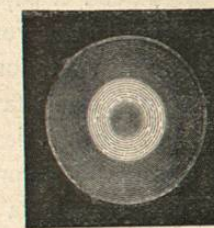


Fig. 653.—Sección de la llama de una bujía

En virtud de este análisis de las diferentes partes que componen una llama compleja, como la de una bujía, se ve que la temperatura, consecuencia de la mayor ó menor actividad de la combustión, debe variar considerablemente según la zona que se considera. C. Murray ha podido introducir en el centro del núcleo obscuro una cucharilla de marfil con unos cuantos granos de pólvora sin que éstos se inflamasen; el fósforo se apaga en él; y por el contrario, en B, en esa envolvente casi oscura que rodea exteriormente la llama, la temperatura es muy elevada.



Para explorar la llama se puede hacer uso de un alambre de platino muy fino, y se ve que queda obscuro en el centro mientras que se enrojece en las regiones más calientes, siendo el brillo más ó menos vivo de su incandescencia la medida relativa de la temperatura del punto en que el alambre está metido.

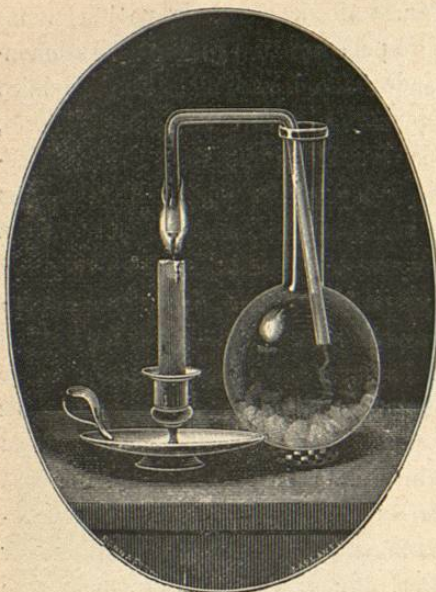


Fig. 654.—Experimento de Faraday

Si se sopla con fuerza la llama de una bujía, nadie ignora que se apaga: la razón de esto es muy sencilla; con el soplo se introduce aire frío en el gas inflamable, el cual se enfría además al difundirse por una masa de aire mayor, y la temperatura baja bastante para que la combustión cese. Si, después de haber soplado bruscamente la llama, la torcida continúa incandescente, se la vuelve á encender soplando ligeramente en ella, lo cual se comprende también, por cuanto así se renueva el oxígeno necesario para la combustión, el gas se desprende de nuevo y se inflama al contacto de las partes sólidas incandescentes.

Volvamos al fenómeno general de la combustión.

Dícese comúnmente que el oxígeno es el cuerpo ó el elemento *comburente*, al paso que la otra substancia, aquella con la cual se combina desprendiendo luz y calor, como carbón, gas de la hulla, estearina, etc., se llama por oposición elemento *combustible*; pero es evidente que esta distinción no significa nada desde el punto de vista químico. Según observa M. G. Salet, "se puede decir también que el oxígeno *arde* en el hidrógeno, cuando se hace pasar aquel gas á un tubo lleno de hidrógeno inflamándolo á su entrada en él."

Aparte de esto, el oxígeno no es el único cuerpo que desempeña el papel antes descrito. Tomemos un frasco lleno del gas verdoso que constituye el cloro, y metamos en su interior un fragmento de fósforo colocado en una capsulita sostenida por un alambre. El fósforo se inflama y despiden una humareda blanca que es el cloruro de fósforo resultante de la combinación; siendo muy elevada la temperatura á que ocurre esta combinación. Si se mete una cerilla fosfórica encendida en un frasco que contenga una mezcla de gas hidrógeno y cloro, sobrevendrá una explosión. Por último, el arsénico y el antimonio reducidos á polvo arden si se les echa en un frasco lleno de cloro. Así pues, tan luego como se ponen en acción las afinidades poderosas de este gas para con ciertos cuerpos, resulta combustión, es decir, desprendimiento de gas y de calor enteramente igual al que resulta de la combustión ordinaria por la acción del oxígeno.

En general, para que haya combustión es preciso que los elementos comburente y



Fig. 655.—Combustión del fósforo en el cloro

combustible estén á cierta temperatura, ó lo que es lo mismo, que se les acerque un cuerpo que tenga á su vez la temperatura de la inflamación. Pero, apenas ha empezado ésta, el calor desprendido suele bastar para elevar las partes contiguas á esta misma temperatura, y la combustión se propaga.

La posibilidad de esta propagación, la rapidez, la mayor ó menor energía con que se efectúa dependen de una serie de condiciones, las principales de las cuales son: el poder conductor del cuerpo combustible, su calor específico, su masa, su forma, la presión del medio ambiente, etc. Por ejemplo, un alambre delgado de magnesio arde de una punta á otra al aire libre, y se apaga con tanta mayor rapidez cuanto más grueso es su diámetro. La antracita es una especie de hulla que arde con dificultad; sus fragmentos se apagan en cuanto quedan aislados.

Davy, y luego Frankland, han estudiado la influencia de la presión en la combustión. El primero comprimió aire hasta reducir á la quinta parte su volumen, y calentó en él al rojo blanco un alambre por medio de la electricidad; el brillo de la combustión no fué mayor que en el aire ordinario; sin embargo, un volumen de la mezcla contenía tanto oxígeno como había en un volumen igual de oxígeno puro á la presión ordinaria.

Frankland y Davy han visto que el calor despedido en un tiempo determinado por un cuerpo en combustión, una bujía por ejemplo, es independiente de la presión; lo cual dimanaba de la circunstancia de que la bujía se consumía con la misma rapidez, cualquiera que fuese la presión del aire; pero el primero de dichos físicos, en oposición al resultado obtenido por el segundo, reconoció que el brillo disminuía con la presión. Tyndall refiere en los términos siguientes una observación hecha por Frankland en 1859 y que demuestra la influencia que la presión ejerce en la combustión: "Se compraron seis bujías en Chamounix y se las pesó cuidadosamente; ardieron una hora en la fonda de la Unión y se averiguó la pérdida de peso que habían experimentado. Lleváronse estas mismas bujías á la cima del monte Blanco, y en la mañana del 21 de agosto se las hizo arder por espacio de una hora en una tienda donde estaban perfectamente resguardadas de la influencia del viento. El aspecto de las seis llamas que daban á tan grande altura nos sorprendió: parecían un reflejo mortecino de las llamas que las mismas bujías daban en el valle de Chamounix: pálidas, pequeñas, débiles, revelaban una energía de combustión considerablemente amortiguada. Pesamos cuidadosamente las bujías á nuestro regreso, y vimos con asombro que la cantidad de estearina consumida en lo alto del monte era casi la misma que la consumida en la fonda, y por consiguiente, aunque el poder lumínico de la llama hubiera disminuído en proporción extraordinaria, la energía de la combustión había sido la misma."

## II

### PRODUCCIÓN DE LAS ALTAS TEMPERATURAS

La combustión es tanto más activa y la temperatura obtenida tanto más elevada cuanto mayor la cantidad de oxígeno suministrada al combustible en un tiempo determinado. Largo tiempo ha que se conoce esta circunstancia, averiguada por la práctica industrial mucho antes de analizar el fenómeno desde el doble punto de vista físico y químico. De aquí ha resultado el empleo de esas poderosas máquinas insuflantes de los altos hornos y de las fraguas, así como el del soplete de los laboratorios. Entremos en



algunos detalles acerca de este último aparato, que tantos servicios presta á los plateros y esmaltadores, á los físicos, químicos y mineralogistas.

La figura 656 representa la forma que se da hoy al soplete, aparato cuyo inventor es tan desconocido como antiguo, y que los mineralogistas suecos del pasado siglo introdujeron en los laboratorios. Es un tubo ligeramente cónico,

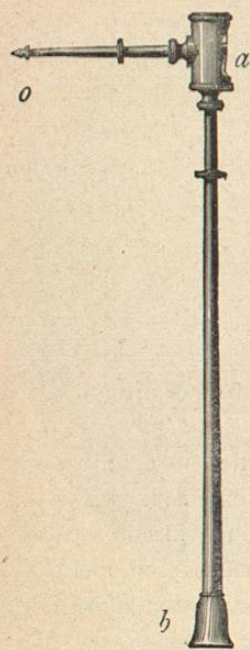


Fig. 656.—Soplete

con una boquilla *b* en su extremo más ancho y una cámara de aire *a*; está doblado en ángulo recto y termina en una punta agujereada de platino *o*. Cuando se sopla en el tubo con la boca, contrayendo los músculos de las mejillas para evitar el cansancio que resultaría de la presión ejercida por los músculos del pecho, el aire sale con fuerza y de un modo continuo por la pequeña abertura *o*, y si se dirige la corriente á la llama de una bujía, ó á la de una lámpara de aceite ó de alcohol, ésta forma un chorro á modo de dardo, como se ve en las figuras 657 y 658. Los esmaltadores se sirven de un fuelle de aire continuo para alimentar la corriente. Dase el nombre de *lámpara de esmaltador* al aparato así constituido y que se usa para trabajar el vidrio.

Enrique Sainte-Claire Deville se ha valido del hornillo representado en la figura 659 para obtener temperaturas capaces de fundir cromo, sílice y platino. En una cavidad hemisférica de hierro *F* descansa una parrilla ó disco de hierro lleno de agujeros, y un cilindro de tierra refractaria de unos 12 centímetros de diámetro interior. En el centro de la parrilla se pone un crisol de cal no hidráulica *A*, de paredes gruesas, que contiene interiormente otro crisol lleno de la materia que se ha de fundir (por ejemplo óxido de cromo mezclado con carbón de azúcar). Se le calienta primero con carbón vegetal, y cuando los dos crisoles se han puesto al rojo, se llena el hornillo de fragmentos de hulla bien limpios, y se activa la combustión con un fuelle de fragua, cuya abertura se

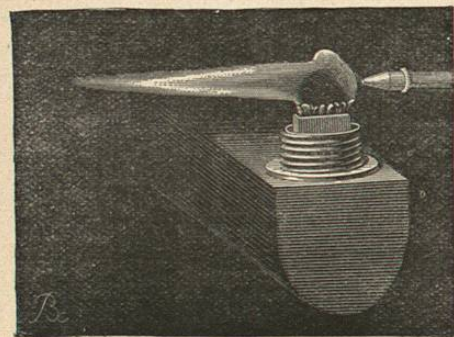


Fig. 657.—Soplete: producción de una llama oxidante

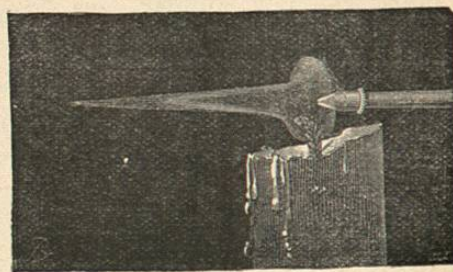


Fig. 658.—Llama reductora

ve á la derecha del dibujo. Al cabo de una hora de caldeo, la materia queda completamente fundida, si no es más refractaria que el cuarzo ó el platino.

El mismo sabio físico, en colaboración con M. H. Debray, ha hecho importantes trabajos acerca de la producción de altas temperaturas y que tenían por objeto la fusión de masas considerables de metales refractarios, como el platino. Con este fin han

utilizado la combustión del hidrógeno en el oxígeno (1), é ideado un aparato cuya descripción y figura son las siguientes:

„El aparato que va á servirnos para fundir y colar el platino, á vuestra presencia, como un metal cualquiera, se compone de dos partes distintas: el soplete, para producir el calor necesario para la operación, y el hornillo ó crisol que debe contener el metal sometido á la fusión.

„El soplete consiste en un cilindro de cobre *EE'* (fig. 661), de 12 milímetros de diámetro, terminado en su parte inferior en una pieza de platino ligeramente cónica. Un tubo de cobre *C* de 3 á 4 milímetros de diámetro interior y terminado en una pieza de platino atornillada á él, penetra en el primer cilindro por su parte superior, quedando sujeto á éste por un tornillo de presión *P*, que cuando se destornilla permite

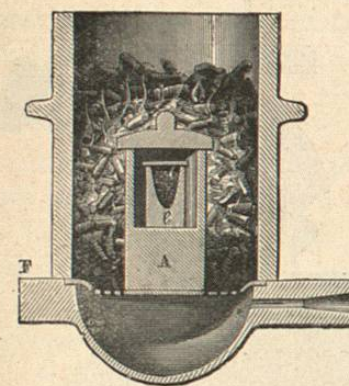


Fig. 659.—Hornillo de laboratorio, de H. Sainte-Claire Deville

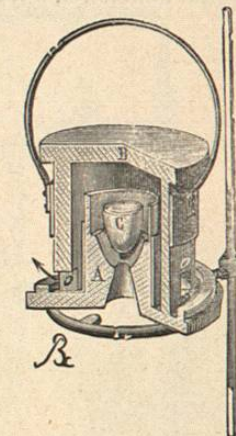


Fig. 660.—Hornillo Fourquignón y Leclercq

dar á la punta de platino la altura que se desea, con relación al extremo inferior del cilindro *EE'*.

„Este cilindro lleva lateralmente un tubo bastante ancho, al cual hay adaptada una llave *H* de gran sección. Otra llave *O* termina asimismo el extremo acodado del tubo *C*. Por la primera llave y por medio de un tubo de goma se hará llegar el gas del alumbrado que sirve de combustible; por la segunda se introducirá el oxígeno que ha de quemarse. El extremo inferior del tubo por el que se introduce el oxígeno tiene un agujero cuyo diámetro varía de 2 á 3 milímetros, según las dimensiones del hornillo que se quiera emplear.

„Este hornillo se divide en dos partes: 1.º, la bóveda *AA* formada de un pedazo de cal al que se le ha dado la forma cilíndrica en un torno y excavado ligeramente en su parte inferior: en su eje lleva además un agujero un tanto cónico por el cual penetra el soplete, y tiene lateralmente una ranura poco profunda; 2.º, un zócalo ahuecado en otro pedazo de cal también cilíndrico: la cavidad es un casquete esférico cuya altura

(1) En otro tiempo se estimaba en 6000 y hasta en 8000º la temperatura de combinación de estos dos gases; pero después del descubrimiento de los fenómenos de disociación hecho por Sainte-Claire Deville, este físico reconoció que debía rebajarse mucho dicha temperatura, y la fijó, con Debray, en unos 2500º. Por otra parte, combinando Bunsen entrambos gases en un udiómetro muy resistente, y midiendo la presión máxima que de esta combinación resultaba, vino á deducir la cifra de 2800º, que se diferencia muy poco de la anterior.