

CAPITULO III

EL MICROSCOPIO

I

LALENTE

Un objeto sumamente pequeño envía al ojo, hallándose por supuesto situado á la distancia de la visión distinta y aun cuando esté fuertemente alumbrado, un haz de luz que es muy poco intensa para que su impresión en la retina produzca una imagen clara y determinada. Para esto sería menester acercarlo á los ojos, aumentando así su diámetro aparente; pero entonces los rayos emanados de sus diferentes puntos no se reunirían en la retina y la imagen sería confusa.

El *microscopio* es un instrumento destinado á servir de auxiliar á la vista produciendo imágenes más ó menos ampliadas de los objetos pequeños, que nuestros ojos pueden ver entonces claramente como á la distancia de la visión distinta.

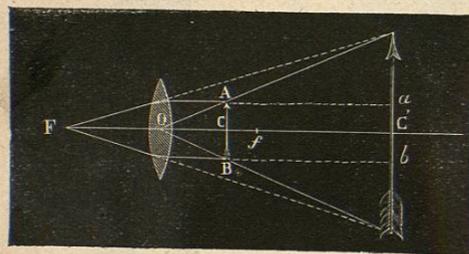


Fig. 637.—Marcha de los rayos luminosos en la lente
Aumento

Hay dos clases de *microscopios*: la *lente de aumento* ó *microscopio simple* y el *microscopio compuesto*.

Es muy probable, cuando no absolutamente probado, que los antiguos conocieran el poder amplificador de las masas de vidrio de forma esférica. De un pasaje de una comedia de Aristófanes se deduce que los atenienses no ignoraban el modo de encender fuego con un pedazo de vidrio que concentraba en su foco los rayos del Sol. Las piedras preciosas grabadas que se conservan del tiempo de los romanos debieron forzosamente de labrarse con el auxilio de instrumentos de aumento, los cuales consistían en pedazos de vidrio tallados ó fabricados en forma de lentes, ó tal vez en bolas huecas de cristal llenas de agua. Esta última suposición es la más probable á juzgar por un párrafo de las *Cuestiones naturales* de Séneca que dice así: "Todos los objetos vistos al través del agua parecen más grandes. Los caracteres diminutos y poco distintos, leídos al través de un globo de vidrio lleno de agua, parecen mayores y más claros." Pero si los antiguos conocieron el poder óptico de las esferas de agua ó de cristal, y aun de las lentes de vidrio, no supieron sacar partido de ellas ni construir las con precisión. No hay una observación de historia natural de cuantas nos dejaron que atestigüe que en la antigüedad se hizo algún uso científico de la lente ó cristal de aumento.

El microscopio, reducido á su mayor sencillez, consiste en una simple lente convergente, plano-convexa ó biconvexa, metida en una armadura cuya forma varía con el destino que se da al instrumento: es lo que vulgarmente se llama *cristal* ó *anteojo de aumento*.

El microscopio, reducido á su mayor sencillez, consiste en una simple lente convergente, plano-convexa ó biconvexa, metida en una armadura cuya forma varía con el destino que se da al instrumento: es lo que vulgarmente se llama *cristal* ó *anteojo de aumento*.

La figura 637 representa la marcha de los rayos luminosos en una lente; el objeto AB está situado á una distancia de la lente menor que la distancia focal principal. El ojo *O*, situado en el punto *F* de convergencia, recibe estos rayos como si emanaran de los puntos *A'B'*, es decir, de una imagen virtual recta y agrandada del objeto.

Para que esta imagen sea bien clara es menester que la distancia *A'F* sea igual á la de la visión distinta para el observador, de donde resulta, para la posición del objeto, un punto determinado que se puede calcular ó deducir fácilmente por tanteo ó por experiencia. Esta posición difiere muy poco de la del foco principal *f*, y tanto menos cuanto más curvatura tenga la lente, es decir, cuanto más corto sea su foco. Si se co-

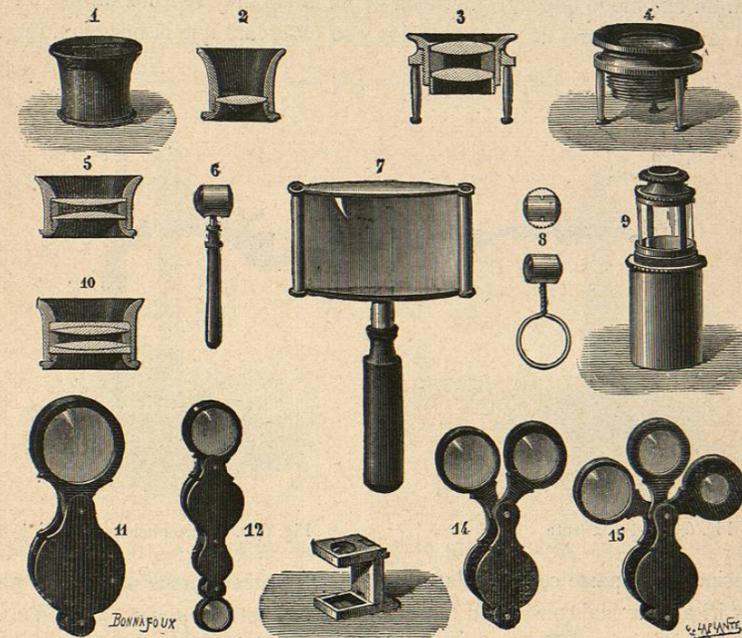


Fig. 638.—Lentes varias: 1, 2, lente de relojeros y grabadores; 3, 4, 5, lentes acromáticas; 6, lente de Stanhope; 7, lente de superficie cilíndrica; 8, lente rodada de Bréwster, llamada de Coddington; 9, lente ó microscopio de grano; 13, cuenta-hilos; 11, 12, 14 y 15, lentes de uno, dos y tres cristales, de los naturalistas.

loca el objeto á mayor distancia del anteojo, llega en breve al foco principal *f*, y la imagen, que had isminuído de amplitud, puede llegar al infinito. Si por el contrario se acerca el objeto á la lente, su imagen se agranda, pero es también más confusa.

¿Cómo se mide el aumento de una lente?

En los instrumentos de óptica y supuesta la nitidez de la imagen, el aumento no es otra cosa sino la relación que hay entre los respectivos diámetros aparentes del objeto y de la imagen. Entiéndese por esto el valor de los dos ángulos bajo los cuales ve el ojo, ya uno, ya otro de dichos diámetros, suponiéndolos situados á igual distancia de la visión distinta. Por lo que se refiere al anteojo de aumento, como puede desprejarse la distancia del ojo á la lente, el aumento es igual á la relación de los ángulos *A'OB'* y *aOb*, ó también al de las dimensiones *A'B'*, *AB*, la cual es igual á la relación de las distancias *OC'* y *OC*. Siendo la primera de estas distancias la de la visión distinta, el aumento no depende ya, como se ve, sino de la distancia *OC'* del objeto á la lente, es decir, de la distancia focal principal, que difiere muy poco de aquélla.

Así pues, cuanto mayor sea la curvatura de una lente ó más corto su foco, y aparte de esto, cuanto más larga sea la visión distinta del observador, mayor será el aumento.

La lente representada en perspectiva y en su sección vertical en la figura 638, números 1 y 2, es la que suelen usar los relojeros y grabadores. Se la sostiene en la mano, y también se la sujeta delante del ojo comprimiendo al efecto los músculos de las cejas y de la mejilla, quedando así las manos libres; pero es preferible adaptarla á un pie ó *porta-lente* (fig. 639).

El aumento de estas lentes apenas pasa de 5 diámetros; además adolecen de un defecto bastante grave, el de tener una gran *aberración de esfericidad*. Dase este nombre á un fenómeno que se comprueba de un modo muy sencillo: Mírese un objeto de cierto tamaño con uno de estos anteojos y se observará que la imagen no se ve con

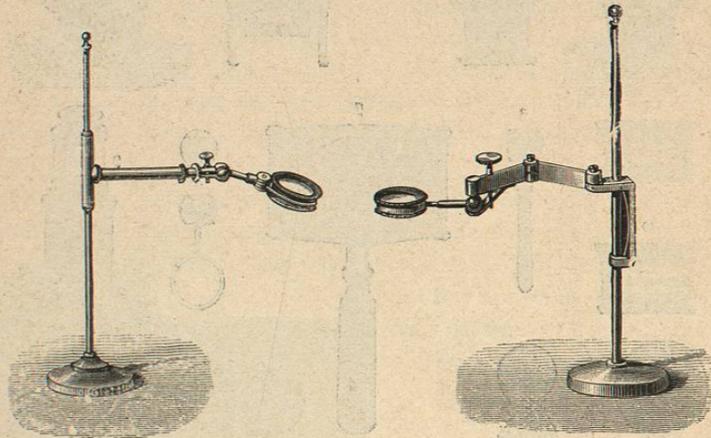


Fig. 639.—Porta-lente

Fig. 640.—Otro modelo de porta-lente

limpieza sino en su parte central solamente: en los bordes aparece deformada y difusa, y además irisada, lo cual consiste en otro defecto, en la falta de *acromatismo*. Pero tiene una ventaja que compensa en parte estos defectos, la de ser su campo muy dilatado; su gran distancia focal permite también que se muevan las manos y los objetos debajo de ella y que se efectúe sin molestia cualquier trabajo.

Se disminuye la aberración de esfericidad aplicando á los bordes de la lente un diafragma ó placa anular opaca que detiene los rayos de esta parte de la lente; en cambio, el campo resulta con ello más reducido.

Para evitar á la vez la aberración de esfericidad y el acromatismo, se compone el anteojo de aumento de dos lentes plano-convexas con sus convexidades frente á frente, ó de dos lentes acromáticas, cada una de ellas formada, como se verá más adelante, de dos cristales convenientemente escogidos. Se puede calcular las curvaturas de modo que desaparezca la aberración de esfericidad.

Los naturalistas se sirven de los anteojos representados en la figura 638, números 11, 12, 14 y 15; la misma montura contiene dos ó tres aumentos diferentes.

El anteojo *periscópico* de Wollaston y el de Bréwster ó de Coddington tienen el diafragma situado en el interior, en la masa del cristal; pero el último es un sector cilíndrico sacado de una esfera, y la parte media del cilindro está tallada á modo de garganta para formar diafragma. Con este anteojo se obtienen aumentos de 30 diámetros.

El anteojo Stanhope consiste también en un cilindro de cristal, pero la convexidad

de sus superficies no es igual. Aplicando á la más plana los pequeños objetos transparentes que se desea estudiar, como polvillos de polen, plúmulas de las alas de mariposa, etc., y mirando por la otra cara al trasluz, se ve la imagen alumbrada y ampliada del objeto con un aumento que puede llegar á 40 diámetros.

II

EL MICROSCOPIO SIMPLE. — DOBLETE DE WOLLASTON

El *microscopio simple* (inventado por Cuff y llamado también *microscopio de Raspail*) es un anteojo montado en un pie ó soporte de cobre, el cual sostiene á su vez una placa ó *porta-objeto* sobre el cual se coloca el objeto que se quiere estudiar, y más

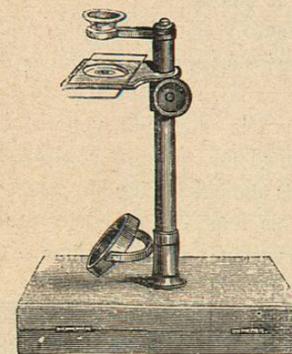


Fig. 641.—Microscopio simple

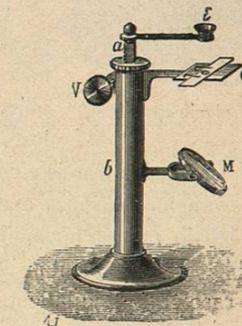


Fig. 642.—Otro microscopio simple

abajo un espejo plano ó cóncavo, que sirve para proyectar la luz difusa del día sobre el mismo objeto. Mediante un tornillo de botón y una barra dentada se puede subir ó

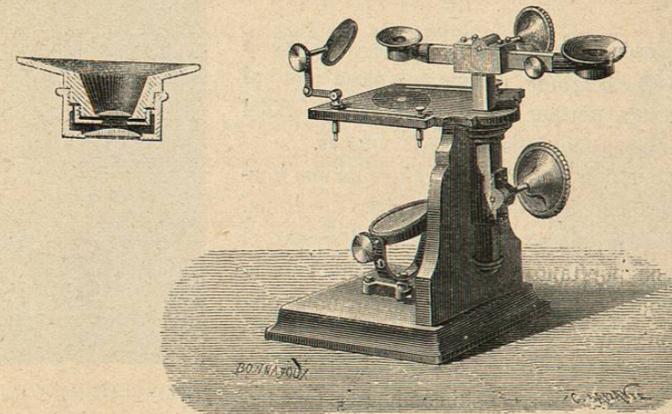


Fig. 643.—Microscopio simple de doblete. Doblete de Wollaston, modificado por Chevalier

bajar el anteojo ó el porta-objeto hasta encontrar la posición en que con más nitidez aparece la imagen, posición que varía según los individuos ó según los aumentos que se emplean. La placa tiene un orificio que da paso á la luz reflejada por el espejo, y el objeto se coloca sobre una lámina de vidrio encima de la abertura.

Fabricanse asimismo microscopios simples más complicados, en los cuales hay dos lentes á las que se puede dar direcciones más ó menos inclinadas, haciendo así posible el examen del objeto en todas sus caras.

En lugar de un anteojo simple se suele adaptar al microscopio otro formado de dos cristales separados por un diafragma con objeto de destruir la aberración de esfericidad y de tener un anteojo acromático; tal es el *doblete de Wollaston*: en la figura 643 están representados un microscopio simple de doblote y la sección vertical de un doblote perfeccionado por C. Chevalier. El anteojo compuesto llena el mismo objeto (fig. 644): se compone de anteojos de lentes biconvexas, de aumentos y campos diferentes, que se pueden sobreponer como se quiera.

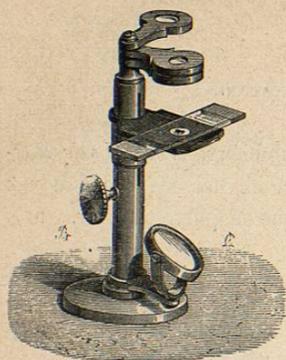


Fig. 644.—Anteojos compuestos

El anteojo de aumento y el microscopio simple han prestado grandes servicios á las ciencias: del segundo se hace uso sobre todo para la preparación y disección de objetos, en especial para la anatomía vegetal, pues los histólogos le prefieren al microscopio compuesto para disecar tejidos animales. En este caso, raro es que los aumentos excedan de 60 diámetros, porque, con ampliaciones mayores, el foco de la lente es tan corto que apenas queda sitio debajo para la manipulación. Para observaciones más sencillas se pueden emplear dobletes que aumentan hasta 500 diámetros, pero en este caso el foco de la lente sólo es de 45 centímetros, ni siquiera medio milímetro.

III

EL MICROSCOPIO COMPUESTO

En el microscopio compuesto hay dos sistemas de lentes: una llamada *ocular*, porque se coloca junto al ojo; otra, *objetivo*, porque se pone en dirección del objeto cuya imagen ampliada se desea obtener.

El objetivo es una lente *biconvexa* que da una imagen real y agrandada ya del objeto, pero invertida. Esta imagen es la que se examina con el ocular, el cual desempeña por tanto las veces de anteojo, sólo que este anteojo sirve para ver y agrandar, no el objeto, sino la imagen.

En la figura 645 se ve trazada la marcha de los rayos luminosos en el microscopio compuesto. O' es el ocular y O el objetivo delante del cual se ve el pequeño objeto *ba*. El objetivo produce en *a, b*, que es el foco del anteojo ocular, una imagen agrandada que sirve á su vez de objeto: esta imagen aparece al revés, y como el ocular no hace más que ampliarla sin devolverle su posición verdadera, el ojo ve también el objeto al revés, como si estuviese en AB, es decir, en el límite inferior de la visión distinta.

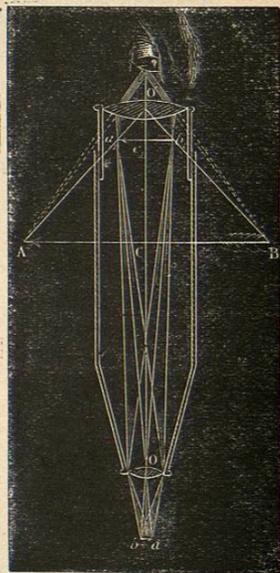


Fig. 645.—Marcha de los rayos luminosos en el microscopio compuesto.

Tal es el aparato óptico del microscopio compuesto reducido á su más sencilla expresión; pero, lo propio que en el anteojo de aumento, hay que corregir algunos defectos, ya del objetivo ó bien del ocular, por lo que respecta á la aberración de esfericidad y á la de refrangibilidad.

Se remedia el primer defecto limitando la extensión de la imagen real por medio de un diafragma situado en el foco del ocular, es decir, en *a, b*. Mas como de este modo se limita el campo del microscopio, se emplea un ocular de gran diámetro, que tiene por consiguiente un campo más extenso. Con el mismo objeto se hace uso también de un sistema de lentes plano-convexas con la convexidad opuesta al ojo. Tal es el ocular de Campani, que tiene al mismo tiempo la propiedad de destruir la irrisación de las imágenes y de corregir el defecto de acromatismo del objetivo. Véase cómo se consigue este objeto.

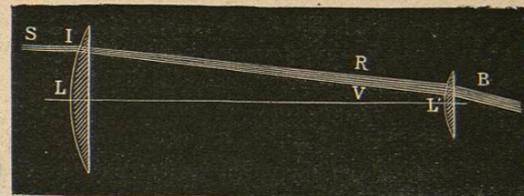


Fig. 646.—Ocular acromático de Campani



Fig. 647.—Objetivo acromático

SI es un haz luminoso emanado de los bordes del objeto; al refractarse se divide en rayos de colores, de los cuales los rojos siguen la dirección IR, y los morados la IV, de suerte que el ojo vería el borde del objeto irrisado si el segundo ocular L' no hiciera que los rayos de colores fuesen paralelos en B, donde forman luz blanca. Allí es donde se aplica el ojo para observar.

Se obtiene también el acromatismo componiendo el objetivo de dos lentes, una B de flint-glass y la otra A de crown-glass, la primera divergente y la segunda biconvexa (fig. 647).

El aumento que da el microscopio compuesto es una combinación del del objetivo multiplicado por el del ocular. Supongamos agrandada veinte veces la imagen que da el primer sistema; si el ocular la agranda otras cinco, claro está que el aumento total será de 100 veces.

Se sobrentiende que en todo lo expuesto sólo se ha tratado del aumento lineal ó *en diámetro*. El aumento superficial es igual sin duda alguna al cuadrado del número que representa el primero. Así por ejemplo, para una ampliación en diámetro de 50, 100 ó 500, la superficie del objeto resultará ampliada 2,500, 10,000, 250,000 veces.

Según A. Chevalier, se construyen hoy microscopios compuestos cuyos sistemas ópticos se dividen en nueve series, según el aumento, desde el n.º 1, que da un poder amplificador de 25 á 50 diámetros, hasta el n.º 9 que aumenta de 600 á 1,300 veces. Con esta última ampliación, las superficies resultan multiplicadas por la enorme cifra 1.690,000, siendo por consiguiente fácil percibir partes de la materia de menos de un milésimo de milímetro de extensión (1). Pero hay que tener muy en cuenta que el

(1) A causa de las necesidades siempre crecientes de los micrógrafos y de la habilidad práctica de los ópticos, hace unos treinta años que se construyen objetivos acromáticos que dan aumentos mucho mayores

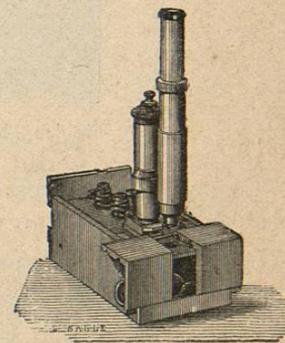


Fig. 648.—Microscopio compuesto con su caja

arte de observar con el microscopio no se adquiere sino después de larga práctica; hay que educar la vista para aprovechar los mayores aumentos, y los principiantes que desean adquirir la habilidad de los maestros harán bien en dar principio á sus observaciones con ampliaciones pequeñas, aumentándolas gradualmente. También haremos observar que cuanto mayor es la ampliación y más se divide y difunde la luz que cae sobre el objeto y le hace visible, más necesario es iluminarlo bien.

Describamos ahora algunas de las disposiciones adoptadas por los constructores en los microscopios compuestos.



Fig. 649.—Modo de observar con el microscopio compuesto

Lo propio que en el microscopio simple, en el compuesto se distinguen tres partes principales: el aparato *óptico* que contiene el ocular y el objetivo, contenidos en un mis- que los que acabamos de citar. He aquí lo que dice acerca de este asunto el doctor J. Pelletán, que ha publicado una obra muy apreciada titulada *El Microscopio y sus usos*: "Se ha echado de ver que combinando muchos sistemas de lentes con arreglo á varias fórmulas, se podía agrandar considerablemente el ángulo del cono luminoso que penetra en el objetivo. Pero esto no era posible sino con una distancia focal sumamente corta. En cambio se obtenían con estos objetivos de gran abertura imágenes mucho más perfectas que con los antiguos objetivos de ángulos pequeños. Viendo los ópticos que se podían utilizar estos objetivos á muy poca distancia, se aprovecharon de ello para reducir todavía más el radio de sus lentes, disminuir por lo tanto el foco y aumentar la ampliación, y de este modo han llegado á conseguir aumentos formidables. Pero no debe olvidarse que las cifras marcadas en los catálogos son á menudo de puro capricho." El doctor Pelletán cita un microscopio construido por el óptico americano Tolles, cuyo aumento *parece ser de 15,000 diámetros* con un objetivo de 1/75 de pulgada y un ocular de media pulgada á 25 centímetros de distancia. Pero añade: "Digo *parece ser* porque no creo que se pueda utilizar *prácticamente* este objetivo con semejante ocular, pues como se comprenderá es de muy difícil manejo, y sólo se puede hacer uso de él en el fondo de un sótano para evitar las vibraciones."

mo tubo; el *porta-objeto*, que suele ser de varias formas, pero que las más de las veces consiste en una platina con una ó muchas aberturas circulares sobre las cuales se coloca

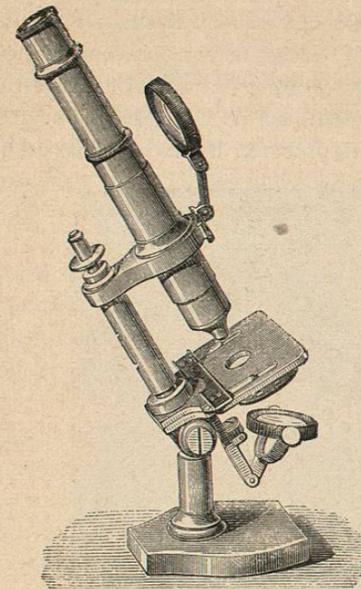


Fig. 650.—Microscopio inclinado de Nachet

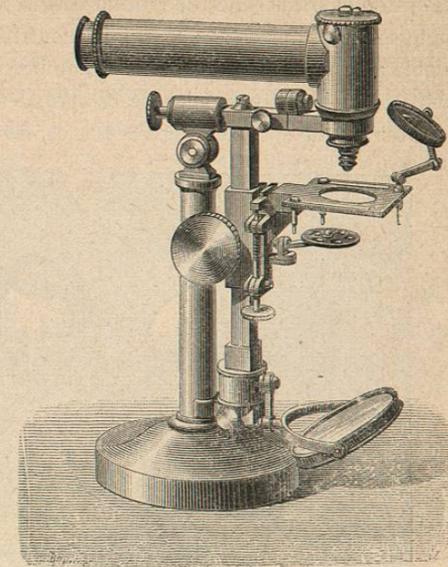


Fig. 651.—Microscopio horizontal de Anici

el cristal que sustenta el objeto; y por fin el *espejo* ó reflector que refleja la luz sobre el cristal y el objeto mismo. Si éste no es transparente, se le ilumina por encima

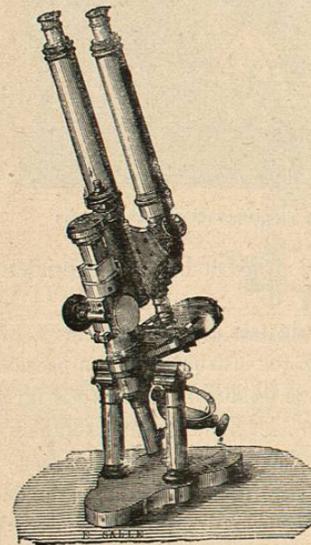


Fig. 652.—Microscopio biocular

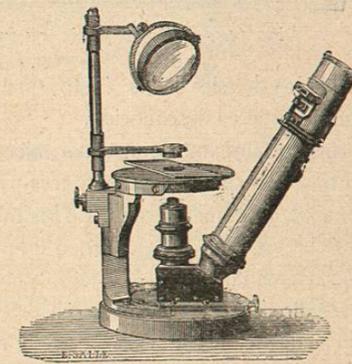


Fig. 653.—Microscopio de los químicos

por medio de una lente situada á un lado y que puede moverse en todos sentidos. El tubo óptico es vertical unas veces (figs. 648 y 649), otras susceptible de inclinarse oblicuamente (fig. 650), y otras, como en el microscopio de Anici (fig. 651), está