

SOBRE LA VISION BINOCULAR
ESTEREOSCÓPICA Y SUS APLICACIONES
A LA MICROFOTOGRAFÍA

por

F. FORNELLS

En la visión binocular, un punto forma una imagen en cada uno de los dos ojos, dando lugar a dos impresiones, aunque sólo percibamos una sola. Esto se debe, en realidad, a que las imágenes se forman en dos puntos similares de las retinas. Para que esto se cumpla, es necesario e indispensable que el ángulo óptico formado por la reunión de los ejes ópticos, correspondientes a cada uno de los dos ojos, coincida con el objeto; se comprueba que esta condición es indispensable de un modo muy sencillo: fijándonos en un objeto con los dos ojos, lo veremos único; pero si comprimimos un ojo ligeramente con el pulpejo de un dedo y lo desplazamos un poco de su posición normal, desviando así el eje óptico de este ojo, impediremos que las imágenes de ambos ojos se formen en puntos similares de las retinas correspondientes, notando como si se desdoblases los objetos que están a nuestra vista, y percibiremos las dos imágenes correspondientes a cada ojo, superpuestas de un modo confuso.

La visión binocular nos da idea de la tercera dimensión de los cuerpos, hace percibir la profundidad, nos da

la sensación de relieve de los mismos; sin embargo, para experimentar este fenómeno no es absolutamente necesaria la visión con los dos ojos. Es posible, aunque de un modo más imperfecto, experimentar la sensación de relieve en la visión monocular. En este caso, esta apreciación es debida a causas diferentes que en la binocular, aunque estas causas contribuyan también mucho, en la visión doble, a la noción del relieve. La perspectiva, es decir, las diferencias de iluminación, los distintos tamaños en que podamos ver un cuerpo de proporciones conocidas y, sobre todo, a los movimientos de la cabeza, por las relaciones establecidas entre las impresiones retinianas y las sensaciones musculares o articulares producidas por estos movimientos; también contribuyen a este fenómeno las modificaciones de la imagen percibida, con los desplazamientos de los distintos puntos de la misma, cuando movemos en diferentes sentidos la cabeza: una sensación de relieve se nos produce de este modo y aun con la sola visión monocular. Cuando viajamos, por ejemplo, en ferrocarril, esta percepción es completa debido a la diferencia de velocidad, ante nuestros ojos, del desplazamiento de los objetos situados en distintos planos. En estas percepciones no entra sólo en función la visión, pues va asociada al hábito que desde pequeños hemos adquirido. En este ejemplo citado, estamos acostumbrados, y sabemos que los objetos que desfilan ante nuestra vista, cuanto más cercanos estén a nosotros lo hacen con mayor rapidez; estamos acostumbrados desde la infancia a relacionarlo así. La observación de los ciegos de nacimiento, cuando se les puede devolver la vista, viene a corroborar lo dicho; ellos experimentan las mismas sensaciones visuales que nosotros, pero no tienen en sus relaciones con los centros nerviosos y con funciones nerviosas superiores la misma educación que nosotros, fal-

tándoles el hábito que hemos adquirido en nuestra infancia. Cuando estos ciegos ven por vez primera, creen que todos los objetos exteriores que perciben tocan a sus ojos o están al alcance de su mano; no saben exteriorizar ni interpretar sus impresiones retinianas. Esto en los niños de corta edad tenemos buena ocasión para observarlo; habremos visto que tienden la mano para querer asir objetos que están muy lejos de ellos. En sus centros de percepción no tienen concebida aún la noción de la distancia, y, si la perciben, es errónea; les falta perfeccionamiento. Otro caso que todos habremos tenido ocasión de observar, es que la primera vez que vimos volar un aeroplano, no pudimos formarnos una idea perfecta de su verdadera situación en el espacio; no podíamos determinar de un modo algo preciso hacia qué sitio del espacio aproximadamente se encontraba; no sabíamos situarlo, por no tener aún nuestros centros de percepción acostumbrados a establecer relaciones entre éste y los demás objetos; es un caso parecido al ya citado del ciego de nacimiento cuando ve por vez primera. Otra cosa que coadyuva muchísimo para la apreciación de los objetos en relieve es el sombreado, por el cual, con la sola visión monocular o con los dos ojos (para la apreciación de dibujos es casi lo mismo), podemos percibir de un modo bastante claro el relieve de los cuerpos dibujados, aun que no de modo perfecto. En este caso, como en los antes expuestos, lo que contribuye a esta apreciación es el hábito.

Dejemos el caso de la visión sencilla y sigamos estudiando la visión con los dos ojos, o binocular, que nos produce la verdadera sensación de relieve, teniendo presente, como hemos ya indicado, que las demás condiciones coadyuvan también a la apreciación del espacio en la visión binocular. En cada retina se forma una imagen;

pero, aunque sea doble la imagen que se forma y doble el sistema de conducción de las corrientes nerviosas, en los centros de percepción se fusionan estas sensaciones, haciéndonos percibir solamente una. Estas imágenes dobles, estas sensaciones llegan simultáneamente a nuestra conciencia, pues su fusión para producirnos una noción única del objeto exterior no se realiza por mecanismo preestablecido de la excitación del órgano sensorial, sino en virtud de un acto psíquico. (Es la misma razón que nos explica el porqué no percibimos doble un solo objeto tocándolo con las dos manos.)

Pero las dos imágenes retinianas no son idénticas. Mirando alternativamente un objeto con cada ojo, observaremos que las imágenes percibidas de esta suerte no son iguales, sino parecidas, y es de la percepción simultánea de estas dos imágenes distintas que resulta la sensación de relieve; esencialmente se debe éste a que cada uno de los dos ojos ve el mismo objeto bajo un ángulo diferente.

Hay un sencillo experimento, citado por Wheastone, que demuestra de un modo bien manifiesto que la vista de dos cuerpos semejantes, independientemente uno con cada ojo, determina una sensación única. Para repetir su experimento, podemos obrar de la siguiente forma: con dos tubos de papel miraremos dos bolas de billar colocadas una al lado de la otra, de modo que con cada ojo sólo veamos una; dispuesto así, veremos una sola, que nos parecerá más alejada que las dos que observamos y que ocupará virtualmente el punto de intersección de los dos ejes ópticos prolongados.

La fusión o superposición de las dos imágenes correspondientes a cada ojo en nuestros centros de percepción óptica, nos da la sensación más perfecta del relieve de los objetos.

De esto podemos deducir que si, por un procedimiento cualquiera, que puede ser geométrico o fotográfico, reproducimos dos imágenes de un mismo objeto con los mismos aspectos en que se presentan separadamente a cada uno de nuestros ojos y después las disponemos de un modo conveniente para que se puedan ver las dos imágenes (estereoscopio), experimentaremos la misma sensación que si mirásemos directamente el objeto con todas las eminencias y depresiones que presenta en el espacio.

MICROFOTOGRAFÍA ESTEREOSCÓPICA

Por más pequeño e insignificante que sea un objeto, no podemos prescindir de las tres dimensiones que, sin excepción, presentan todos los cuerpos que nos rodean, aunque en ciertos casos, nos sea vedado, por alguna razón fisiológica o física, poderlos apreciar en esta forma. Existe un dispositivo apropiado que nos permitirá ver estos cuerpos en relieve.

Este dispositivo lo encontramos en el microscopio binocular de Grenouch o en el de Braus y Brünner, fabricados por la casa Zeiss. Constan de dos microscopios unidos, uno para cada ojo y formando ángulo, que permite examinar la preparación desde dos puntos de vista distintos, o sea dos perspectivas del objeto, condición indispensable para apreciar el relieve, de la que ya hemos hablado, produciéndose en nuestro sensorio los mismos fenómenos de percepción de relieve que ya dejamos apuntados y analizados.

Para la microfotografía de esta clase varían un poco los términos: primeramente, no existe ningún aparato dispuesto para proyectar las imágenes microfotográficas estereoscópicas sobre la placa sensible; pero esto no significa

que, con los medios de que disponemos, tengamos que desesperar de poderlas obtener. Lo he visto logrado con éxito, valiéndome de los procedimientos que a continuación describiremos.

El procedimiento más sencillo es el empleo del microscopio binocular de Grenouch, de que ya hemos hablado. Se tropieza con una serie de inconvenientes para ponerlo en práctica en la mayoría de aparatos para microfotografía de uso corriente, inconvenientes que es ocioso describir.

Supongamos que tenemos dispuesto el microscopio binocular. Nada, al parecer, más sencillo; sólo bastaría colocar la preparación en la platina, enfocarla, colocando las dos pantallas a la misma distancia y distribuir bien la luz, de manera que tenga la misma intensidad en cada pantalla, para que las dos fotografías quedaran impresionadas en las respectivas placas con la misma intensidad (condición necesaria).

Parece que así el problema estaría resuelto, pero ya hemos dicho que con los aparatos de microfotografía de que disponemos no es posible realizar estas cosas.

Ahora bien: ¿podemos nosotros, mediante un aparato de microfotografía y un microscopio de los que se emplean ordinariamente, proyectar en una placa fotográfica dos imágenes que cumplan las mismas condiciones que las del microscopio binocular? A esta pregunta contestamos con una afirmación, pues podemos reproducir y, por lo tanto, fotografiar, aunque no simultáneamente, estas dos imágenes, valiéndonos de los procedimientos que a continuación expondré.

Para deducirlos, observemos en el procedimiento que llamaríamos clásico (figura 1.^a) lo que sucede en cada sistema óptico M_i y M_D del microscopio binocular. Empecemos por el de la derecha, M_D , y veremos que el eje del mismo es oblicuo respecto al objeto O , o al portaobjetos

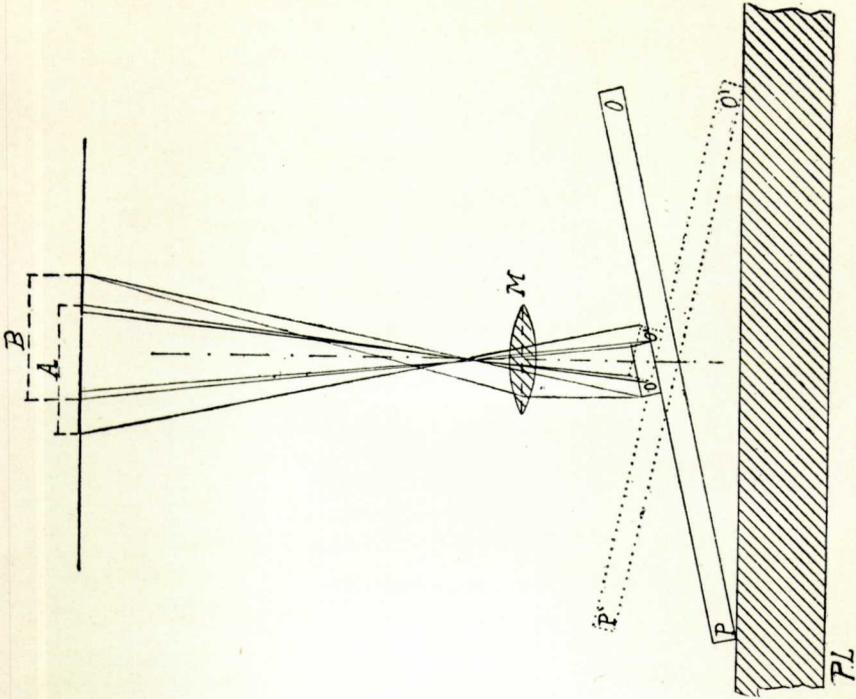


Fig. 2.^a — *A, B*, dos imágenes distintas del cuerpo *O*. — *M*, microscopio. — *P O*, porta-objetos en la primera posición y *P' O'* en la segunda. — *PL*, platina del microscopio.

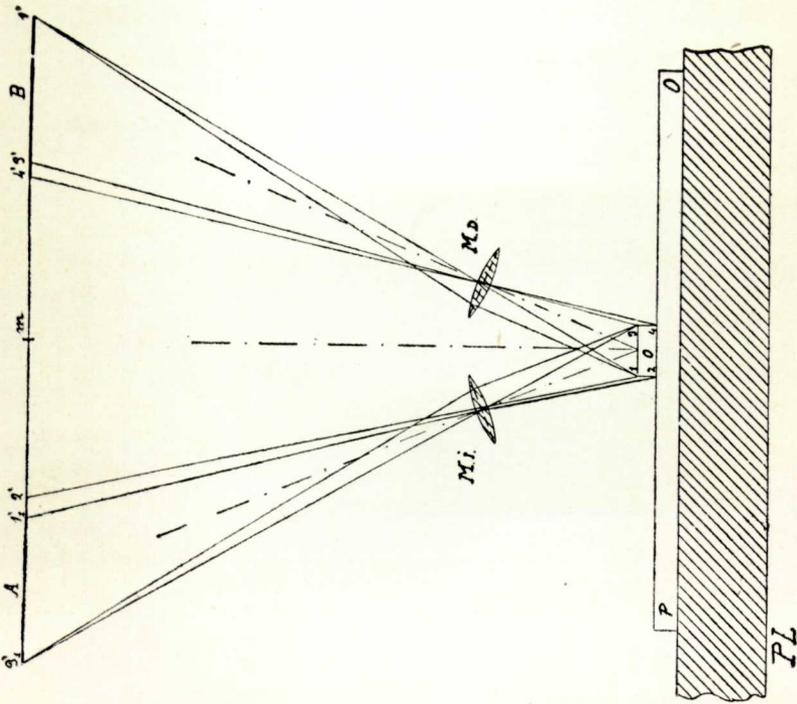


Fig. 1.^a — *A, B*, dos proyecciones distintas de la imagen del cuerpo *O*. — *Mi, Md*, representan dos microscopios o bien un microscopio estereoscópico. — *P O*, porta-objetos. — *PL*, platina.

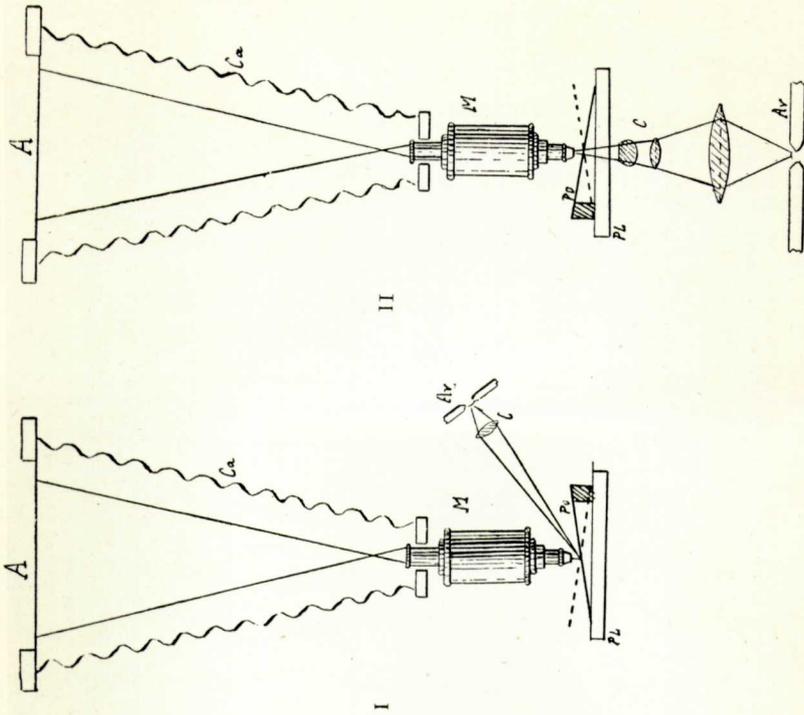


Fig. 4.ª — I, Dispositivo general para la iluminación por episcopía. II, dispositivo general para la iluminación por diascopía. *A*, pantalla.—*Ca*, cámara fotográfica.—*M*, microscopio.—*PL*, platina del mismo.—*Po*, porta-objetos.—*Av*, arco.—*C*, condensador.

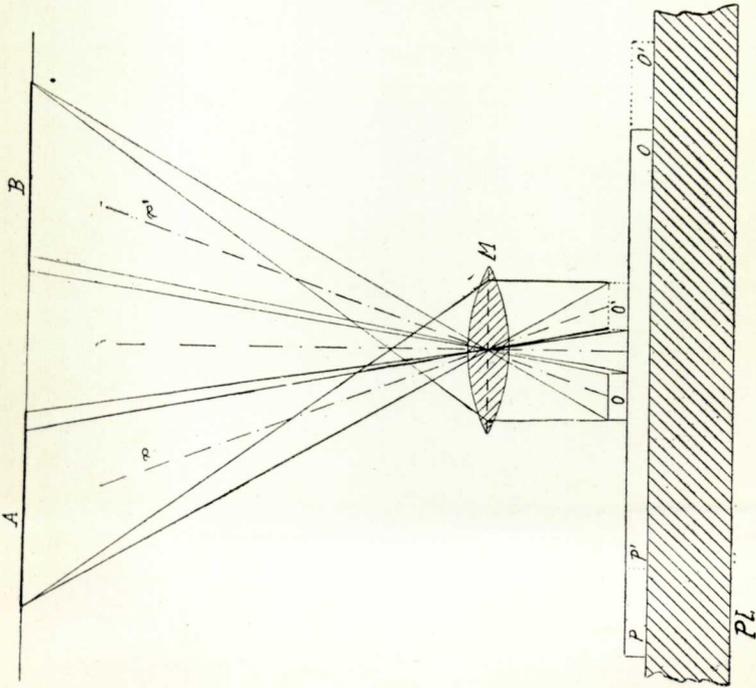


Fig. 3.ª — *A*, *B*, dos imágenes del mismo objeto. — *M*, microscopio. — *P* *O* y *P'* *O'*, porta-objetos en dos posiciones distintas. *PL*, platina del microscopio.

(que, para más sencillez, tomaremos como referencia), acercándose más al punto 3 que al 1 del objeto; y en el de la izquierda, Mi, el eje es también oblicuo al portaobjetos Po, pero acercándose más al punto 1 que al 3, la inversa del MD.

Estos mismos efectos los podríamos obtener con un microscopio sencillo, inclinando el tubo o la platina del mismo; pero como éstos no están dispuestos para permitir tales movimientos, lo que resulta más práctico es inclinar el portaobjetos. (Esto lo lograremos colocando cualquier objeto que levante de un lado, lo necesario, el portaobjetos, del modo como se indica en la figura 2.^a y sujetándolo todo con las pinzas de la platina del microscopio.) Así se logra el mismo resultado que en el binocular, como podrá observarse en la figura y fotografiando primero en una posición O, obteniendo así una imagen igual a la B de la figura 1.^a y después en la P'O', correspondiendo ésta a la A. Hemos repetido de este modo lo que se produce en cada sistema óptico del binocular, obteniendo así el mismo efecto y las mismas imágenes que en éste, o sean dos imágenes estereoscópicas. La figura 2.^a nos demuestra gráficamente la construcción de éstas, en cuya construcción hemos procurado la mayor sencillez posible, evitando complicaciones.

Hemos de tener en cuenta, operando de este modo, que las imágenes que obtengamos correspondan a la separación de los dos ojos. Esto depende de la inclinación en que coloquemos el portaobjetos. Inspeccionando lo que sucede en el binocular, deduciremos que ha de formar el portaobjetos un ángulo sobre la platina igual a la mitad del ángulo de los dos tubos del binocular, suponiendo que el microscopio con que trabajemos tenga aproximadamente la misma longitud que cada tubo del binocular.

Sin recurrir a este procedimiento, tendremos determinado este ángulo, de un modo más exacto, considerando que es igual a la mitad del ángulo que forman dos rectas que, separadas de un extremo por la distancia de 7'50 cm. (que es, aproximadamente, la que separa los dos ojos), a la altura de la vertical que cae desde la lente frontal del ocular, se unan para formar el vértice en el punto marcado de la preparación.

Este procedimiento, no obstante, presenta sus inconvenientes; el principal es que, como el objeto no está paralelo al plano focal del sistema óptico del microscopio, no puede quedar la imagen bien enfocada en todos los puntos; pero cuando se trata de aumentos no muy grandes, apenas se percibe. Otro inconveniente, también, más acentuado cuando se trata de bastante aumento, es lo engorroso que resulta el centraje de la imagen al cambiar la inclinación del objeto que tratamos de microfotografiar.

Estos inconvenientes se hallan corregidos en el otro procedimiento representado esquemáticamente en la figura 3.^a, aunque no del todo, porque, como veremos, se han de aprovechar los rayos marginales del sistema óptico que constituye el microscopio y tropezaremos, por lo tanto, con la aberración de esfericidad. No obstante, esto no constituye dificultad mayor con el empleo de un buen sistema óptico, en el que esté bien corregida, esta aberración.

Este procedimiento consiste, sencillamente, en proyectar primeramente la imagen que nos interese a un lado de la línea media, determinada por la prolongación del eje óptico del microscopio y, una vez fotografiada en este lado, deslizarla horizontalmente (empleando la platina del microscopio Zeiss, modelo especial para microfotografía, podemos mover la preparación en esta dirección

F. Fornells

Phthirus pubis. — Fotografia obtenida por diascopia.



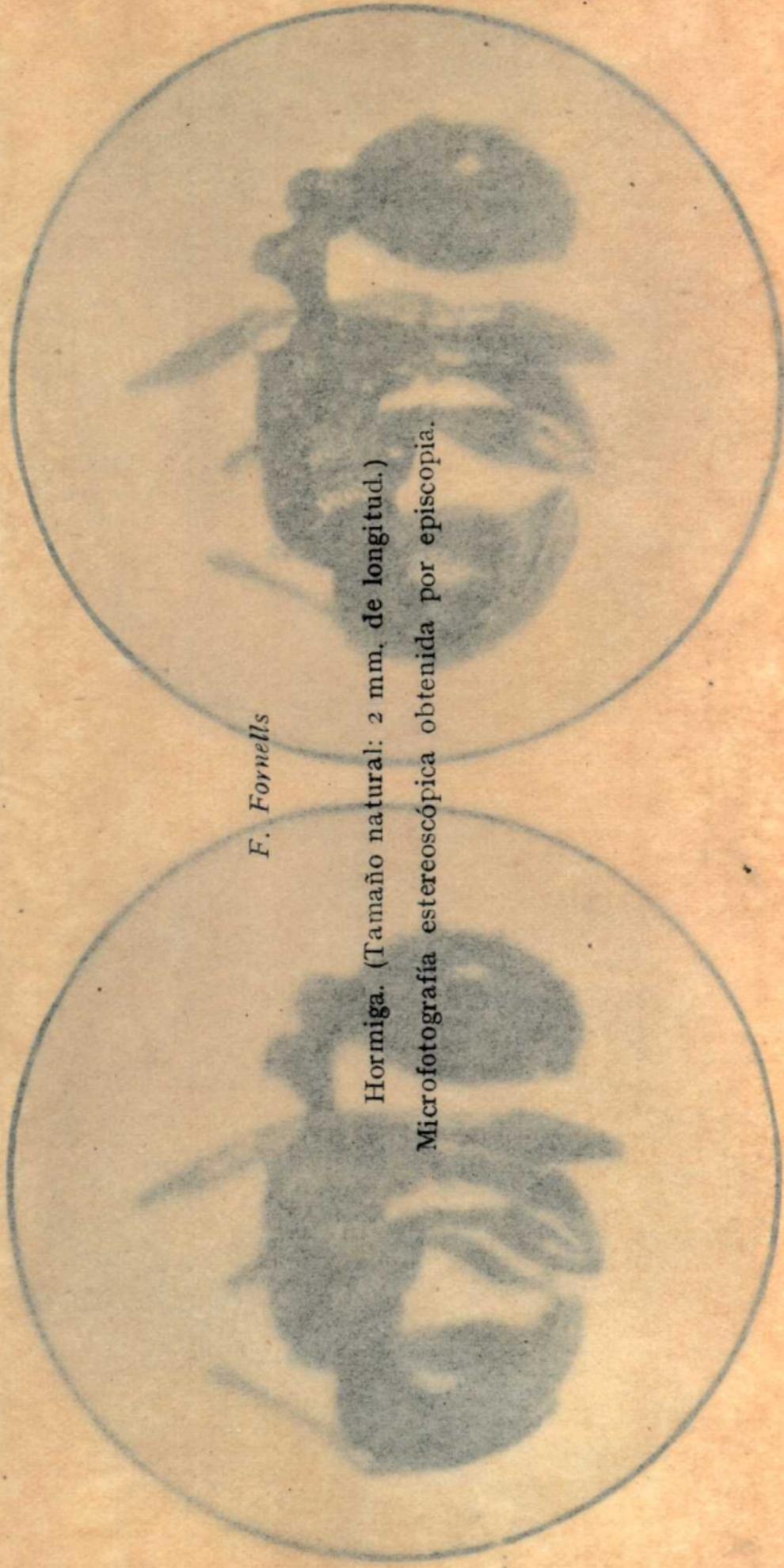
F. Fornells

Sangre humana. Microfotografía obtenida por diascopia.

F. Fornells

Hormiga. (Tamaño natural: 2 mm. de longitud.)

Microfotografía estereoscópica obtenida por episcopia.



muy sencillamente), para proyectar después la misma imagen al otro lado de la línea media.

Con el esquema representado en la figura 3.^a comprenderemos cómo se forman por este procedimiento las dos imágenes estereoscópicas; la condición que siempre buscamos para esto, y es necesario que se cumpla, es la ya repetida de proyectar dos imágenes obtenidas desde dos puntos de vista distintos, formando ángulo; y aquí lo logramos, no inclinando el microscopio ni la preparación, sino el eje de los rayos que forman la proyección, deslizando a un lado para la imagen del lado opuesto y después al otro para la segunda imagen.

Las condiciones ópticas del microscopio, de producir una imagen virtual invertida, son las que aprovechamos para lograr la inclinación indicada.

Observando la lámina en cuestión, podremos ver comprobado que para cada posición O, O' del cuerpo O que proyectamos en B y en A reproducen las mismas figuras correspondientes (fig. 1.^a) a los de MD y Mi del microscopio binocular. La claridad de la construcción de las imágenes de la figura 3.^a es suficiente para comprender este caso, pues sucede lo mismo que en la construcción de las imágenes en la figura 1.^a

En este caso, el ángulo que han de formar los ejes x y x' de las dos imágenes, que aquí equivalen a los dos ejes ópticos en un microscopio binocular, se calcula por una sencilla proporción, que queda indicada en la siguiente fórmula:

$$D_o : 3 \frac{3}{4} \text{ cm.} = D_p : x$$

D_o = Distancia del objeto a la lente frontal del ocular.

$3 \frac{3}{4} \text{ cm.}$ = Es la mitad de la separación de los dos ojos.

D_p = Distancia del objeto a la placa sensible en que se proyecta la imagen.

x = Distancia desde el punto en que el eje óptico del microscopio atraviesa la pantalla hasta el punto donde hemos de proyectar el centro de la imagen.

Hemos de tener presente que cuanto más cerca esté la pantalla al microscopio, más fácil nos será obtener la inclinación suficiente a los ejes de las imágenes.

Este procedimiento no presenta los inconvenientes del anterior; puede quedar la imagen bien enfocada, empleando sistemas ópticos en los que esté bien corregida la aberración de esfericidad, pudiéndose emplear aumentos bastante grandes sin el perjuicio que nos proporcionaba para éstos el procedimiento anterior.

En cuanto al sistema de iluminación que nos conviene emplear para la microfotografía estereoscópica, es el de episcopia del modo indicado en la figura 4.^a I, porque nos reproduce el sombreado de los objetos y esto ayuda de un modo extraordinario, aumentando los fenómenos que contribuyen a la idea de relieve, efecto que no se logra tanto cuando se emplea la iluminación por diascopia.

Por episcopia, la iluminación de los objetos para microfotografía tiene un inconveniente, el de no poderse emplear en aumentos muy grandes.

Para conseguir cuanto sea posible por la episcopia conviene que la preparación esté sobre fondo blanco.

Cuando es imposible esta forma de iluminación, podemos emplear el procedimiento corriente, o sea por diascopia, en la forma que representa la figura 4.^a II. Este procedimiento, aunque no reproduzca todas las condiciones que son necesarias para la perfecta sensación de

relieve, nos marca de un modo bastante claro la diferente situación de los diversos puntos del objeto.

Se ha de tener especial cuidado en dar la misma exposición con igual intensidad de luz y el mismo tiempo de revelado a los dos clichés que correspondan a una misma imagen estereoscópica. Obteniéndose por separado, es una cosa difícil de lograr en microfotografía, pero que se adquiere con un poco de práctica.

Laboratorio de Histología. Facultad de Medicina.