

R. 293. 150

REVISTA

DE LA

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DE

MADRID

TOMO IV.

MADRID

IMPRESA DE LA "GACETA DE MADRID,"

CALLE DE PONTEJOS, NÚM. 8.

1906

que haya equilibrio de temperatura entre todos los puntos de un cuerpo isótropo, es decir, homogéneo en todos sus puntos y homogéneo alrededor de cada punto, y lo definimos así provisionalmente; será preciso, que la fuerza viva tenga un valor constante, es decir, que la temperatura esté representada por una cantidad proporcional á esta fuerza viva media; y acabamos de ver, que al menos en los sistemas ideales que hemos presentado como ejemplos, la expresada condición no se cumple, puesto que llegamos al equilibrio dinámico en multitud de casos con fuerzas vivas distintas para los distintos puntos del sistema.

El anterior trabajo, sin embargo, es un puro trabajo de exploración: en la conferencia próxima completaremos, en lo posible, el desarrollo de las anteriores ideas.

XVII. — Estructura de las imágenes foto-crómicas de G. Lippmann.

POR S. R. CAJAL.

Notorio es que el método de la fotografía interferencial imaginado por el eximio físico Lippmann constituye en el orden especulativo una deducción de la teoría de las ondulaciones etéreas y en el práctico una elegante y decisiva comprobación experimental de la realidad de estos movimientos. Bien puede afirmarse, pues, que por esta vez la razón pura se anticipó á la experiencia; el laboratorio del físico, en donde tantas veces surgió la verdad al ciego impulso del azar, se ha limitado en este caso á mostrar objetivamente un fenómeno anunciado y previsto por la lógica matemática. En el fondo, y prescindiendo de sus efectos artísticos, la

placa sensible lippmanniana representa un exquisito aparato registrador de ondas luminosas, como el fonógrafo representa un aparato inscriptor de las palpitations del sonido.

Bajo este aspecto, no deja de tener interés efectuar un análisis micrográfico directo de dichas inscripciones, á fin de averiguar hasta qué punto la placa registradora reproduce fielmente las pulsaciones luminosas, y determinar de pasada las condiciones experimentales en cuya virtud la citada inscripción se normaliza, se falsea ó se hace completamente ilegible.

No juzgamos necesario puntualizar aquí el *modus operandi* del ilustre profesor de la Sorbona ni los procederes de los autores que, siguiendo sus huellas (Lumiére, Valenta, Kröne, Neuhaus, Cramer, etc., etc.), han perfeccionado el método primitivo. Esta técnica es harto conocida y además su exposición detallada nos desviaría de nuestro propósito. Bástenos, por ahora, recordar que la reproducción interferencial de los colores obedece á las siguientes condiciones experimentales: 1.^a, empleo de placas sensibles absolutamente transparentes (capas de albúmina ó gelatina que encierran una emulsión de bromuro argéntico casi invisible al microscopio); 2.^a, montura de estas placas, durante su exposición á la luz en un chasis especial, cuyo objeto es formar detrás de la superficie sensible, y en íntimo contacto con ella, un espejo reflector de mercurio; 3.^a, en fin, reducción, á favor de los baños reveladores fotográficos, de la sal argéntica dispersa por la placa.

Si las operaciones se conducen bien, en el espesor de la gelatina se formarán precipitados metálicos laminares alternantes con espacios nodales ó incoloros. El fenómeno es producido por las ondas estacionarias creadas durante la exposición de la luz entre los rayos incidentes que atravesaron la placa y los reflejados en la superficie del mercurio. De estas ondas, sólo los *máximos*, donde la fuerza viva llega al sumo, impresionan al bromuro de plata; los *mínimos* ó planos

nodales, donde la fuerza viva se transformó en energía de tensión, quedan sin acción sobre la capa sensible, generando espacios incoloros. Ulteriormente, sometiendo la placa á un fijador, el bromuro desaparecerá de todos los citados espacios nodales, y la imagen resultará definitivamente fijada.

Una vez la prueba lavada y seca, los colores aparecen á la luz blanca incidente por un mecanismo, idéntico en el fondo, al tan conocido de las irisaciones de las burbujas de jabón ó de las láminas del nácar. La explicación del fenómeno, en cuyos detalles no podemos entrar aquí (*), es muy sencilla. Aquellas ondas cuya longitud iguala al doble del espacio interlaminar (ó de un múltiplo de su valor) interferirán al salir de la placa, concordando en sus fases y sumando sus efectos; aquellas otras cuya longitud corresponda á un número impar de los mencionados intervalos emergerán discordantes, se restarán entre sí y se extinguirán más ó menos completamente.

Ocioso es decir que el color resultante será el correspondiente á las vibraciones reforzadas y no anuladas, alcanzando tanta mayor brillantez, cuanto más compacto sea el depósito metálico y más numerosos los estratos.

Por lo demás, la obtención de buenas fotocromías por el método interferencial es empresa muy ardua y ocasionada á toda suerte de sorpresas y desilusiones. Baste recordar al efecto, que las láminas metálicas de referencia, cuya separación, variable en función de la longitud de onda, no pasa de $\frac{\lambda}{2}$ (0,211 de *micra* ó milésima de milímetro para el violeto), deben destacar perfectamente unas de otras, separándose por espacios nodales absolutamente incoloros. Compréndese bien, por consiguiente, que la menor equivocación en

el tiempo de exposición, revelado, reforzado, etc., provocará la reducción total ó parcial de dichos espacios transparentes, desapareciendo ó apagándose notablemente los colores. Esta sutilidad y casi inaccesible precisión del proceso fotoquímico justifican el hecho singular de que, según declara Neuhaus, sólo cuatro ó cinco cultivadores del método lippmanniano hayan tenido éxito completo, no pasando el total de excelentes pruebas obtenidas en Europa de unas cuantas docenas.

Pero dejando á un lado la técnica del procedimiento, de que nos ocuparemos en otro lugar, conviene hacer constar aquí un antecedente histórico. Los triunfos de los afortunados no deben eclipsar el recuerdo de los precursores. Mucho antes de que Lippmann resolviese tan elegantemente el problema de la fijación del espectro sobre la placa, un físico notable, el alemán Zenker (*), anunció ya el fenómeno fundamental sobre que se basa el procedimiento. En efecto; este sabio atribuyó las coloraciones de las imágenes de Bequerel (láminas metálicas cubiertas de subcloruro de plata), á la producción, en el espesor de la sal argéntica, de ondas estacionarias, determinantes de máximos y mínimos de reducción y, por consiguiente, de verdaderos estratos paralelos capaces de reflejar y descomponer la luz al modo de las láminas del nácar. En honor del que, si no los demostró objetivamente, los vió con los ojos de la inteligencia, designaremos tales estratos *láminas ó estrías de Zenker*. En épocas posteriores, parecida explicación defendió también Otto Wiener (**), quien llegó á fotografiar, á favor de procedimientos ingeniosos, las ondas estacionarias de Zenker, aunque no en el espesor de las fotocromías.

La teoría nos obliga á admitir en las placas lippmannianas las láminas de Zenker; pero estas láminas ¿existen realmen-

(*) Un excelente análisis geométrico del fenómeno de la producción interferencial de los colores, ha sido dado por el mismo Lippmann en: *Journal de Physique*, 3.^a serie, tomo III. Mars. 1894.

(*) Zenker, *Lehrbuch der Photochromie*. Berlín. 1868.

(**) *Annal. der Physik u. Chemie*. N. F. Bd. 40, 1890.

te? ¿Cabe reconocer objetivamente, es decir, con el microscopio, la realidad de tan delicadas y sutiles estructuras?

Fuerza es convenir en que la empresa es ardua. Tocamos aquí ya en los límites de la potencia resolutive del microscopio. La longitud de las ondas luminosas, aun las más groseras, representan fracciones de milésima de milímetro (μ 0,512 para el verde), y este valor queda reducido todavía á la mitad, dado que, según dejamos dicho, el intervalo de dos hojas de Zenker corresponde á una semionda. Y aun cabe, en lo posible, que cada estrato, puesto que traduce un máximo de acción fotoquímica, alcance área limitadísima entre dichos espacios nodales. Así, para el verde espectral, sería preciso resolver un intervalo de μ 0,237, lo que exigiría, en virtud de la fórmula de Abbé: $\delta = \frac{\lambda}{a}$ (luz central y blanca), un objetivo de apertura numérica superior á 1,40, límite práctico á que alcanzan en la actualidad los sistemas apocromáticos de Zeiss (*).

Ciertamente, recurriendo á la iluminación oblicua, ganaríamos algo en poder resolutive ($\delta = \frac{\lambda}{2a}$); pero, en cambio, según hace notar Neuhaus, semejante modo de iluminar ocasiona franjas de difracción que enmascaran las rayas verdaderas, y hasta pueden inducir á cometer la grave equivocación (ocurrída ya á Senior y otros) de tomar las unas por las otras.

De todos modos, esta hazaña micrográfica ha sido, no obstante sus dificultades, realizada por Neuhaus (**), quien valiéndose de luz monocromática azul y del objetivo 1,40 apoch, de Zeiss, ha logrado fotografiar las láminas de Zenker del rojo espectral. Los cortes microtómicos, efectuados

(*) El obj. 1,60, de inmersión en el monobromuro de naftalina, no es aplicable á este caso particular, por ser imposible bañar directamente las hojas de Zenker en dicho líquido.

(**) Neuhaus: *Wiedermanns Annalen*.—Bd. 65, 1898.

por Flatau, técnico habilísimo, no pasaron de una ó dos micras de espesor.

Después de Neuhaus, la empresa no ha sido acometida felizmente por nadie, que sepamos. A la verdad, las revistas fotográficas han publicado una comunicación de Senior (*) acompañada de una microfotografía en que parece confirmarse la observación del doctor berlinés; mas, conforme Neuhaus nota acertadamente (**), las bandas fotografiadas por el autor inglés son muchísimo más espesas que las de Zenker, correspondiendo, en realidad, no á estratos reales de la imagen fotocromica, sino á rayas de difracción (***).

Hasta aquí se ha ensayado únicamente la resolución de algunos colores espectrales puros, de onda gruesa, constitutivos de los casos más sencillos y abordables de la placa lippmanniana. Falta, por tanto, el análisis estructural de los colores mixtos, y, muy singularmente, del blanco y gris, á quienes se debe el modelado de las imágenes tomadas del natural.

«Muy deseable sería — dice Neuhaus al final de su libro (****) sobre fotocromia interferencial — llevar el análisis micrográfico á los colores mixtos. De cómo en éstos están dispuestas las hojas de Zenker, nada sabemos actualmente. El microtomo y el microscopio tienen la palabra. Tales investigaciones podrían esclarecer con certeza por qué el mé-

(*) Senior: *Photography*. — 3 Januar, 1902, núm. 650, London.

(**) Neuhaus: *Neue Untersuchungen über Lippmanns Farbenverfahren*, etc. *Photographische Rundschau*, Heft. II n. III. Febrero y Marzo de 1900.

(***) En efecto, basta examinar la fotografía dada por Senior del color rojo espectral para comprender que ha sido inducido á equivocación, verosímilmente por el empleo de la luz oblicua y de diafragmas angostos. En estas fotografías, además, las rayas primera y última son sumamente espesas (cosa que no corresponde á la realidad) y falta por completo esa degradación de intensidad de la reducción argéntica, que tanto Neuhaus como nosotros, hemos observado á partir de la primera ó más superficial hoja de Zenker.

(****) Neuhaus: *Die Farbenphotographie nach Lippmann's Verfahren*, etc.—Halle, 1898.

todo de Lippmann para la fotografía de los objetos naturales, da á menudo tan deplorables resultados.»

Util, en efecto, desde el punto de vista práctico, consideramos este estudio, y por eso lo hemos emprendido. Ni deja de tener interés para la teoría indagar, por el examen directo de las láminas de Zenker, las causas de ciertas singularidades de la imagen interferencial no previstas ó difícilmente adivinables por el cálculo. Citemos, entre otras, la desaparición de los blancos (y no de los colores) por sobre exposición; el virado general hacia el rojo ó amarillo sucio y la aparición del blanco, por el excesivo refuerzo; la entonación general de los colores hacia la porción más refrangible del espectro cuando se frota suavemente la imagen; la ausencia frecuente de tonos complementarios en la prueba vista por transparencia; la aparición del negro ó violáceo cuando se raspa el blanco; el apagamiento de las tintas por barnizamiento (menos los blancos y grises), etc., etc.

Por lo demás, según dejamos dicho, las veleidades y caprichos de las pruebas lippmannianas no deben sorprendernos. Trabajamos en un telar tan angosto que sólo tiene algunas décimas de micra, y cualquiera equivocación en la distancia archimicroscópica de los hilos altera extraordinariamente el dibujo. Proceso complejísimo el de la impresión y desarrollo de la imagen, tiene como factores fenómenos no bien estudiados de física molecular y reacciones fotoquímicas de inusitada delicadeza. Con una química tan sutil que opera en tubos de ensayo de fracciones de micra, y con partículas sensibles tan diminutas que escapan, en su mayor parte, á la potencia amplificadora del microscopio, ¡cómo no deplorar, á menudo, resultados extraños é imprevistos!.....

I. MÉTODO DE EXAMEN

Para iniciar nuestros estudios, hemos utilizado los procedimientos ordinarios de la técnica de los cortes finos histoló-

gicos ya usada por Flatau y Neuhaus; es decir: desprendimiento de la gelatina, induración en alcohol, inclusión en parafina ó celoidina y ejecución de secciones de dos á tres μ como máximo, secciones que se exploran en el bálsamo. Esta técnica, muy correcta y expedita (sobre todo si la emulsiones se vacian previamente sobre cristal colodionado), resulta excelente cuando se trata de confirmar la existencia de las láminas de Zenker correspondientes á los colores rojo y naranja y de efectuar medidas micrométricas exactas. Mas desde el momento en que es preciso analizar tonos de onda más fina, tales como el azul y violeta, y muy especialmente el blanco y el gris, la potencia resolutive del microscopio nos abandona, y es fuerza apelar, si queremos percibir la estructura de la imagen, á medios indirectos.

El recurso, extremadamente sencillo, empleado por nosotros, consiste en remojar y examinar los finos cortes microtómicos en agua, en vez de usar, al efecto, el bálsamo ó la glicerina. Merced á tan cómodo expediente, las secciones de la gelatina se hinchan y transparentan, las láminas de Zenker se apartan y los precipitados metálicos de que constan resultan muy perceptibles á causa de la dilatación de los espacios nodales ó intercalares. De esta suerte, las rayas del azul alcanzan, á menudo, cerca de una micra, y las del rojo ó amarillo se acercan á veces á dos ó más: en fin, las finas estratificaciones del blanco y ultraviolado, que jamás se hubieran percibido en la placa seca, resultan bastante aparentes. La hidratación del vehículo, algo variable según los casos, equivale á multiplicar el aumento del microscopio por ocho ó diez veces (*). Claro es, que tales imágenes no son

(*) Por consecuencia de esta dilatación del vehículo, las hojas de Zenker del rojo, aparecen ya con 150 diámetros de aumento. Muy cómodamente pueden estudiarse, tanto las rayas como el grano metálico de la prueba, con el obj. 1,30 Zeiss, luz blanca sin diafragma, y con iluminación central.

aprovechables para medidas micrométricas; el coeficiente de dilatación de la gelatina varía con la temperatura, los efectos tanificantes de los reactivos empleados y la presión misma de la laminilla cubreobjetos. Pero si nuestros propósitos se encaminan exclusivamente á esclarecer la estructura ó morfología interna de la placa revelada, tal deficiencia no tiene importancia.

He aquí, pues, nuestra técnica:

1. Comiézase por mojar en agua el área de la placa destinada á ser analizada. Reblandecida la gelatina, se desprende ésta á beneficio de una lámina de cristal recién fracturada. Si la capa de emulsión es moderadamente gruesa, el desprendimiento tiene lugar siempre por la superficie del vidrio ó muy cerca de ésta, y en todo caso por debajo de la porción impresionada del bromuro argéntico.

2. Inmersión de la tira gelatinosa en agua alcoholizada, después en alcohol absoluto y, por último, en celoidina, donde aquélla permanecerá solamente algunos minutos.

3. Finalmente, practicanse al microtomo cortes finos bien perpendiculares, los cuales se llevarán al agua, donde sufrirán la susodicha hinchazón reveladora.

El examen efectúase también en agua destilada, que se cambiará, progresivamente, por glicerina, si se desea conservar la preparación. En algún caso será conveniente teñir además la gelatina (con una anilina insoluble en agua), á fin de discernir más claramente la superficie libre de la imagen. El objetivo preferible es el 1,40 apochr. Zeiss.

Cuando se ha aprendido á ver las estratificaciones de Zenker, y no se desea emprender más que una exploración de ensayo, cabe usar un procedimiento todavía más sencillo y expedito. Consiste en picar el lugar de la imagen, una vez humedecida la placa, con un cubreobjetos fracturado, de suerte que se logren tiras finas y replegamientos del vehículo gelatinoso. Protegida la región pulverizada con una laminilla, el examen micrográfico inmediato permitirá encontrar

siempre algún trozo delgado de gelatina situado de través, ó algún doblez de la capa donde se revelen distintamente las consabidas estratificaciones.

Expongamos ahora los principales resultados obtenidos. Pero antes de entrar en el análisis de las rayas, permítasenos decir algo de un punto bastante discutido: del *grano* de las placas lippmannianas.

II. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES LIPPMANNIANAS

1. **Grano de las placas aptas á la reproducción de los colores.**—Lippmann y demás cultivadores del método interferencial creyeron, en un principio, que las emulsiones transparentes de bromuro de plata en albúmina ó gelatina carecían de grano, ó lo presentaban de dimensión despreciable con relación á la longitud de onda. Empero, contra la creencia general, Neuhaus demostró en dichas placas la existencia de un verdadero grano, casi invisible en las placas no expuestas á la luz, pero perfectamente visible en las reveladas. La dimensión de este grano oscilaría entre μ 0,1 y 0,3.

Nuestras observaciones confirman en principio los datos aportados por Neuhaus; sin embargo, estimamos exageradas las cifras que nos presenta, las cuales no pueden referirse, en mi sentir, sino, ó á emulsiones poco transparentes, ó á placas excesivamente reforzadas. Es más; si la dimensión μ 0,3 fuera la dominante, estimamos difícil ó imposible el que la placa registrara la semionda del violado, cuyo valor es notablemente menor $\left(\frac{\lambda}{2} = 0,171 \right)$. Además, del examen á que nosotros hemos sometido las franjas de Zenker del violado y azul añil resulta que el grueso de cada una contiene un gran número de partículas. Así que no creemos desviar-

nos mucho de la verdad, evaluando la dimensión del grano entre 0,02 y 0,05 de micra (*).

(*) Por de contado que nos referimos aquí á la dimensión del grano de las emulsiones transparentes, es decir, de aquellas que registran perfectamente todos los colores, incluso el azul y el violado. Este grano afecta, naturalmente, mayor espesor en las emulsiones que sólo reproducen los colores de onda larga (rojo y amarillo).

La fórmula de emulsión, usada por nosotros con resultados casi constantes, es la siguiente, arreglada de las de Lippmann y Neuhaus:

Gelatina (de Lautenschlager, de Berlín).....	4 1/2
Agua destilada.....	100
Bromuro de potasio.....	0,55

Disuelta la gelatina, se añade el bromuro, y cuando la temperatura descendiendo á 30 ó 32°, se echan los sensibilizadores siguientes:

Solución alcohólica saturada de rojo de glicina..	8 cent. cúb.
Solución al 1 por 500, de cianina.....	5 id. id.
Solución al 1 por 500, de eritrosina.....	2 id. id.

Se espera á que la temperatura del líquido decline todavía hasta 26° ó 28°, y entonces se adiciona en la obscuridad:

Nitrato de plata puro (marca Merk) cristalizado y reducido momentos antes á polvo fino.....	0,75
---	------

Sin sacudir el frasco, se mueve suavísimamente y sin interrupción el líquido, durante la doble descomposición, con una varilla de cristal. Á los cinco minutos la emulsión está hecha y puede ser vaciada en placas, que se alcoholizarán y lavarán según los consejos de Lumière.

Una experiencia ya larga en estos asuntos (actualmente trabajamos con la 56 emulsión), nos ha persuadido de que todas las condiciones que los autores dan como indispensables al éxito completo, tienen un valor muy relativo (proporciones del bromuro y nitrato, temperatura, lavado insistente de las placas, delgadez de éstas, temperatura de desecación). Hay, en cambio, una á la que no parece haberse dado importancia y que es *absolutamente decisiva* para la obtención de emulsiones transparentes: el agitar, lenta y suavísimamente el líquido, durante el momento crítico de la doble descomposición, sin producir espuma, ni dejar, por tanto, penetrar el aire. A nuestro juicio, la dimensión del grano, cosa importantísima en la fotocromía lippmanniana, proviene casi exclusivamente de las *condiciones físicas* del proceso (agitación y temperatura, sobre todo).

Claro es que semejantes medidas no son sino aproximadas. La impropiedad de los micrómetros, cuya graduación es demasiado grosera, y la dificultad de percibir objetos que se hallan ya en el límite del poder resolutivo del microscopio, hacen completamente imposible toda medición precisa. Los gránulos más voluminosos, estudiados por nosotros, pertenecen á las placas dos veces reforzadas; algunos de ellos alcanzaban el tercio del intervalo ó plano nodal de la semi-onda del rojo (placas secas).

La forma del grano es esférica, afectando aspecto homogéneo y un colorido que varía mucho con el tanto de exposición, estado de humedad de la atmósfera y calidad del revelador.

Por punto general, el grano de las partes poco expuestas es gris violáceo ó azulado; los puntos justos de impresión luminosa encierran granos oscuros de matiz marrón claro, y, en fin, los parajes sobreexpuestos exhiben esferas finísimas de color verdoso amarillento ú ocre rojizo pálido. Un tono amarillo claro muy transparente, denota siempre solarización extremada. Semejantes tintas, ocioso es declararlo, no se relacionan con la cualidad cromática de la luz, sino con el tiempo de acción de ésta. Por lo demás, únicamente en las placas no reforzadas aparecen: la acción del sublimado, además de engruesar el grano, uniforma su aspecto, prestándole opacidad y matiz más ó menos grisáceo.

No es dudoso que las referidas mutaciones de color del grano, en función del tanto de exposición, dependen del fenómeno de la fatiga del bromuro argéntico, fenómeno que, á causa de la delicadeza de las partículas sensibles, sobreviene en las placas de Lippmann, mucho antes que en las placas ordinarias. Sabido es que el grano de substancia impresionable, fatigado ó sobreexpuesto, pierde su capacidad de reducirse en bloque negro, palideciendo, á partir de un máximo ú óptimo correspondiente al tiempo justo de exposición. Mas, en tanto que el grano de las placas comunes aguanta,

sin palidecer demasiado un tercio de exposición superflua, el finísimo gránulo de las emulsiones transparentes pierde su virtualidad de ennegrecerse, coloreándose de amarillo, con sólo que dicho tiempo exceda $\frac{1}{10}$ ó en $\frac{1}{12}$ de lo justo. De ahí la gran dificultad de acertar en la exposición y de obtener, por tanto, perfectas fotocromías lippmannianas.

El grano de las placas reducidas varia de color también con la humedad de la atmósfera. Placas fabricadas en tiempo húmedo redúcense en rojo y no en negro, aunque no estén sobreexpuestas. A veces, revelando en días lluviosos y con exceso de amoníaco (revelador al ácido pirogálico de Lumière) obtiéndose á menudo imágenes que, miradas por transparencia, presentan una serie de colores correspondientes á otros tantos grados de exposición. La gama va desde el azul verdoso y violáceo al rojo claro y amarillo. Y el examen micrográfico demuestra que dichos colores se deben al matiz individual del grano. Así, en los puntos sobreexpuestos, el grano es amarillo: verde en los menos solarizados, etc. Añadamos aún, que, frecuentemente, una misma área de la imagen (un gris ó negro por ejemplo), encierra granos reducidos en tres tonalidades diversas: rojo ocre, gris azulado y verdoso. Semejante particularidad parece indicar, según expusimos en otros trabajos, que las emulsiones de Lippmann encierran partículas de bromuro de diferente sensibilidad; naturalmente, las más sensibles se fatigan antes que sus compañeras menos impresionables, y muestran, á igualdad de exposición, matices más próximos al amarillo (*).

(*) Los autores de Fotoquímica han desatendido esta propiedad que posee el grano de bromuro argéntico, de modificar su color por sobreexposición. Semejante atributo, evidéntísimo en las emulsiones lippmannianas, se da ya, hasta cierto punto, en las ordinarias, según indicamos nosotros (*La Fotografía*. Año 1904). En general, los especialistas en estas materias suponen que el color del grano depende de su tamaño, el cual varia, según el reductor empleado. Esto es un error

Hasta aquí hemos aludido al grano de las placas reveladas. Empero, las placas vírgenes de exposición encierran también granulaciones, según ha reconocido Neuhaus. Con todo, son difícilísimas de percibir, y, por consiguiente, dificultosísimas de mensurar, á causa, tanto de su transparencia (los sensibilizadores cromáticos no les prestan coloración apreciable), como del poco contraste entre su índice de refracción y el del vehículo gelatinoso. Esta inmaculada blancura y consiguiente transparencia de la emulsión no impresionada, mántiense aun después de varios días de acción directa de la luz; particularidad que, dicho sea de pasada, prueba la incapacidad del grano fino ó transparente para reducirse ó ennegrecerse sin ayuda de los reductores fotográficos (*).

De todas maneras, y no obstante las casi insuperables dificultades inherentes á la medición del grano de las placas vírgenes, nosotros hemos llegado á distinguirlo con relativa claridad en ciertas condiciones (capas delgadísimas de

ya refutado por nosotros hace tiempo. En realidad, todos los reductores dan grano del mismo grueso; el color del cliché depende de la más ó menos perfecta reducción del grano de la sal argéntica haloidea. Sea de esto lo que quiera, es evidente que en las placas lippmannianas el color del grano proviene de su grado de solarización. En cuanto á sus dimensiones, son harto delicadas con relación á la longitud de las ondas luminosas, para generar coloraciones por el mecanismo de la luz reflejada en un medio enturbiado. Además, no se olvide que el color del grano es distintamente apreciable con el microscopio. Quien se interese por estas cuestiones consulte el reciente trabajo de MM. Lumière y Seyewetz, resumido en el *Annuaire général et international de la Photographie*, 1905, p. 97, donde se sostiene todavía la doctrina de que el color del grano es función de su dimensión.

(*) Semejante particularidad, ya notada por el Dr. Lippo Cranier (citado por Neuhaus, 1903), cabe ser utilizada para evitar la inútil operación del fijado é impedir, con el descarte de un factor constructivo de la placa, la disminución del espesor de los espacios nodales. Más adelante, haremos notar la importancia de la no fijación para la buena conservación del color natural al nivel de las sombras de la imagen.

emulsión fuertemente teñidas de cianina; empleo de la luz oblicua y del objetivo 1,40 Zeiss; luz monocromática, etc.). La dimensión de tales gránulos nos ha parecido un poco mayor que la de los residentes en la imagen revelada. Por lo demás, imposible establecer cifras precisas.

2. Estructura de la placa al nivel de los colores espectrales puros.—El examen, conforme al proceder técnico más atrás señalado, de los cortes de una porción de la prueba teñida de un color espectral puro ó casi puro, exhibe, según reconoció Neuhaus, dos formaciones diferentes: *capa superficial ó estratificada y capa profunda ó sin estratificar.*

La *formación estratificada* abarca un área variable con el espesor de la placa, la transparencia de la emulsión y el tiempo de exposición. De ordinario, representa el tercio ó algo menos de espesor total de la gelatina (placas moderadamente espesas). En ella hay que distinguir las siguientes partes: *zona limitante*; es decir, el limbo gelatinoso que media entre la superficie libre y la primera hoja de Zenker; las *láminas de Zenker*, en número variable, constituidas por series paralelas de precipitado metálico, y en fin, los *espacios ó planos nodales*, intercalados á las hojas.

a) *Zona limitante.*—Es difícilísima y casi imposible de percibir á causa de su delgadez al nivel de los colores azul y violeta; en cambio, suele aparecer con relativa distinción en los tonos rojo y naranja, bajo la forma de un limbo finísimo exento de granulaciones en su límite superficial, pero progresivamente cargado de éstas hacia su lado profundo, continuado con la primera lámina de Zenker.

De todos modos, no es cómoda empresa, ni aun al nivel del color rojo, el estudio detallado de la *zona limitante*. En los cortes hidratados, la gelatina posee un índice de refracción, tan vecino del agua, que, ni aun iluminando con luz oblicua, se distingue bien la frontera superficial de la citada zona. Sin duda, en virtud de esta dificultad, Neuhaus, único autor que hasta aquí ha visto las hojas de Zenker, pasa en

silencio la existencia de la capa limitante que, por lo demás, no aparece claramente en la microfotografía aneja al texto del doctor berlinés. Al objeto de precisar un punto que tiene importancia para la teoría, nosotros hemos practicado cortes en placas exteriormente lubricadas con un color de anilina soluble en alcohol é insoluble en agua (azul de anilina, por ejemplo) ó con barnices alcohólicos coloreados dispuestos en cutícula superficial. En tales condiciones (fig. 1.^a a), la capa limitante suele hacerse bien perceptible, gracias á la costra de color insoluble yacente inmediatamente por encima de ella. Su espesor en las placas hidratadas corresponde, sobre poco más ó menos, á la mitad de un espacio nodal, valor que sufre grandes variaciones, acaso achacables á la desigual dilatación del vehículo gelatinoso y de seguro también al variable espesor de la primera lámina de Zenker.

Estas observaciones comprueban, por lo menos en principio, un hecho sospechado por los analistas, á saber: que la superficie de la gelatina representa el primer plano nodal, y, por tanto, que el espejo reflector de mercurio estuvo en íntimo contacto durante la exposición de la luz con la placa fotográfica (*).

Las consideraciones precedentes se refieren á las placas justas de exposición y moderadamente reveladas. Consignemos ahora que, en las imágenes enérgicamente desenvuel-

(*) Este hecho pugna con la opinión de Rothé, quien atribuye la producción de los colores lipmannianos á la reflexión de la luz en la superficie de una pretendida capa de aire que, según él, subsistiría siempre entre la placa y el mercurio. Véase: *Compt-rend. de l'Acad. de Sciences*, 1904. Pero si las cosas pasaran de tal suerte, es decir, si la reflexión de la onda incidente que atraviesa la placa, tuviera lugar en una substancia de menor índice que la gelatina, en vez de un plano nodal superficial, deberíamos hallar un vientre ó máximo. Y esto no sucede jamás en las pruebas justas de exposición y no reforzadas. (Véase acerca de esta particularidad de las ondas estacionarias el libro de O. D. Chwolson *Traité de Physique, etc.* Tom. I. París, 1906 (traducción del ruso).

tas y reforzadas, la zona limitante desaparece ó se achica tan notablemente, que prácticamente es como si no existiera. Ello depende del avance hasta la superficie, por el engrosamiento del grano, de la primera hoja de Zenker. Así se explica que, en la mayoría de los casos, la luz reflejada por este primer depósito metálico coincida casi perfectamente con la enviada por la superficie de la gelatina. Sobre este importante fenómeno insistiremos más adelante (figuras 8, 9 y 11).

b) *Hojas de Zenker*.—Constan de un precipitado metálico, denso hacia el centro de la banda y sucesivamente menos apretado hacia las fronteras, afectando, por tanto, una disposición conforme á la teoría (fig. 1.^a b). No hay que olvidar, sin embargo, que en las placas secas, esta banda de precipitado se aprieta notablemente, desapareciendo casi por completo sus transiciones y presentando una densidad y un poder reflector notabilísimos. Cuando se trata de placas sin reforzar, el color del grano es amarillo pardo muy claro, que pasa á gris marrón ó café oscuro en las reforzadas.

En cuanto al número de hojas de Zenker, es muy variable, oscilando en la mayoría de los casos, según reconoció ya Neuhaus, entre cuatro y seis. Las variaciones de esta cifra dependen de la calidad de la emulsión, la intensidad de la luz empleada, el tiempo de exposición y la transparencia de la gelatina. En general, nos ha parecido que los colores vivos, puros y bien iluminados, como los del espectro solar ó los que proyecta un cristal de linterna mágica bañado por el sol, se imprimen en mayor cantidad de hojas de Zenker que los tonos compuestos de los modelos naturales. Poseemos copias del espectro en que las estratificaciones en número de 13 y más, llegan hasta el cristal, reflejando los colores por ambos lados. De todos modos, este hecho es excepcional, siendo lo corriente el obtener cinco ó seis, lo más ocho, láminas separadas por otros tantos espacios nodales claros.

El espesor de las hojas, así como el de los espacios nodales, es uniforme; pero no su vigor y corrección de límites, los

cuales van tornándose sucesivamente más vagos conforme nos alejamos de la superficie de la placa. Este hecho, según veremos más adelante, tiene gran importancia para esclarecer ciertas propiedades de las imágenes lippmannianas.

Conforme mostramos en las figs. 8.^a y 2.^a, el primer estrato, situado inmediatamente por debajo de la zona limitante ó invadiendo sus dominios (placas reforzadas), suele ser algo más enérgico que los demás (en esto hay excepciones), limitándose correctamente hacia el espesor de la gelatina; sigue luego el primer *espacio nodal*, el más puro é incoloro de todos, es decir, exento de precipitados; viene después la segunda hoja de Zenker, densa y de correctas fronteras, seguida del segundo espacio claro, casi tan transparente como el primero; en fin, tras este plano nodal, el contraste entre los espacios claro y las hojas disminuye (los espacios se llenan de precipitados sucesivamente más oscuros), hasta que se llega á una región en que se diseñan muy vagamente los estratos y cesa progresivamente el precipitado argéntico (figura 1.^a d).

Como veremos más adelante, la intensidad relativa de las primeras hojas de Zenker varía mucho con el tiempo de exposición y el vigor del reforzado. En general, en las placas normales, las dos primeras hojas poseen la misma intensidad y espesor; mas en las sobreexpuestas, la primera se debilita y aun llega á desaparecer por completo en virtud del fenómeno de la fatiga fotoquímica. En tal caso, la hoja más enérgica resulta la segunda y aun la tercera (fig. 12 y 13).

c) *Formación profunda*.—La porción profunda ó no estratificada exhibe gran variedad de extensión y aspectos (figura 1.^a e).

En las placas sumamente delgadas puede faltar ó reducirse notablemente, mientras que en las moderadamente espesas constituye, según aparece en las figuras 1.^a y 2.^a, los dos tercios ó la mitad de la totalidad de la gelatina. Por lo común, si la exposición ha sido justa ó corta, la *formación profunda*

muéstrase clara, sin reducción argéntica, á lo más permite discernir acá y allá algún gránulo correspondiente quizás á las esférulas de bromuro de plata excesivamente sensibles. Mas si la exposición fué excesiva ó se [extremó] sobremantura el desarrollo, dicha zona exhibe un precipitado difuso, fino, amarillento ó marrón claro, salpicado de algunos granos groseros. La presencia de este precipitado es la causa principal del velo de las porciones oscuras de la imagen, accidente gravísimo del procedimiento fotocromico que nos ocupa, en el cual, como se sabe, la obtención de los negros (por barnizamiento del dorso del cristal con betún de Judea) exige la absoluta transparencia de los parajes correspondientes á las sombras del modelo.

Este primer análisis concierne á los colores rojo y amarillo, puros ó casi puros, de una buena fotocromía (fig. 1.^a). Mas, según presumirá el lector, el aspecto de los cortes de la imagen de los demás colores será esencialmente el mismo, salvo la distancia entre las hojas de Zenker, variable en función de la longitud de onda. En la fig. 2.^a mostramos un corte del color azul ($\gamma = 0,475 \mu$). Repárese la delgadez extrema de la zona limitante y la relativa finura de las franjas de Zenker. Acaso se trate de un fenómeno de coincidencia; pero en la mayoría de nuestras preparaciones, el número de hojas metálicas nos ha parecido ser, tanto en el azul como en el violeta, algo menor que en los colores poco refrangibles (rojo y anaranjado); diríase que las ondulaciones finas se propagan más difícilmente que las anchas á través de la placa de gelatino-bromuro (figuras 2.^a y 12).

2. Análisis del blanco y del gris.— Consignase al principio de este escrito que el blanco no ha sido todavía explorado, ignorándose, por tanto, las condiciones físicas á que su producción obedece. Y este estudio tiene tanto más interés, cuanto que la obtención del blanco y gris, y, por tanto, del modelado de los colores, constituye el problema práctico más arduo de la fotocromía lippmanniana. Conseguir emul-

siones que, además de colores vivos, den blancos y grises perfectos, he aquí, por confesión del mismo Lippmann, el *desideratum* del método interferencial. Nosotros lo habíamos perseguido en vano mucho tiempo en las placas simplemente reveladas, hasta que, por las publicaciones de los especialistas y el análisis de la imagen, nos hemos persuadido de que el blanco es *pura función del refuerzo de las imágenes*. Sin esta operación, es decir, sin la producción artificial de grano grueso en las partes más solarizadas, consiguense alguna vez tonos amarillentos claros, matices más ó menos grises; pero jamás el blanco perfecto cuya producción implica la creación, en el primer plano de la gelatina, de una hoja metálica de granos apretadísimos, opacos, capaces de obrar como un espejo reflector. Y es claro que los finísimos granos en que se resuelve la emulsión después del revelado (sin refuerzo), carecen de la opacidad indispensable para desempeñar semejante función especular.

Como mostramos en la figura 5.^a, la gelatina, al nivel del blanco, consta de tres regiones bien diversificadas: *zona especular ó limitante*; *zona media ó estratificada*, y, en fin, *estrato posterior* ó de reducción de difusa.

a) La característica del blanco y gris, así como de todos los colores que participan del blanco, es la desaparición absoluta de la *zona limitante*. En su lugar, así como en el dominio de la primera lámina de Zenker, aparece una recia, densa y obscurísima capa, la *zona especular* dotada de un gran poder reflector (figuras 5.^a y 6.^a a). Esta capa, correctamente limitada por ambas caras, contiene granos metálicos robustos, esféricos, de color pardo oscuro, que yacen en íntimo contacto. Regla general: cuanto más brillante es el blanco, más opaca y compacta se presenta dicha zona que, según es de presumir, exhibe en las fotocromías simplemente reveladas y sin refuerzo, un aspecto amarillo ó pardo claro transparente y numerosos intersticios intergranulares bien perceptibles.

Esta primera observación es ya decisiva para comprender la génesis del blanco, revelándonos que su producción depende de dos condiciones: precipitaciones metálicas en la zona limitante y opacidad excesiva de la primera hoja de Zenker que se funde y forma una sola unidad morfológica con la anterior. A consecuencia de semejante espesamiento y opacidad excesiva, la luz incidente es casi íntegramente reflejada por la superficie metálica, sin que los escasos rayos que pudieran penetrar hondamente en la placa sean susceptibles de suscitar fenómenos útiles de interferencia.

b) Detrás de la *capa especular* sigue un finísimo espacio nodal (fig. 5.^a) y una serie de rayas muy oscuras, delgadísimas y apretadas, en las cuales no es raro discernir desigualdades de espesor y de distancia (b). Las *rayas del blanco*, escasas generalmente, no faltan jamás aun siendo muy puro el color (imagen de pared blanca, de cielo nebuloso, de papel bien iluminado, etc.). Naturalmente, tales rayas se mostrarán más numerosas en las tintas mezcladas de blanco (rosa, crema, azul claro, etc.), que en los blancos ó grises cualitativamente indiferentes. Reparemos, y este hecho es muy significativo, que, por lo común, las distancias entre dichas hojas de Zenker son brevísimas y comparables á las peculiares de los colores violado y azul. A veces, aprécianse diferencias de espesor y de distancia entre las láminas, como si algunas de ellas correspondiesen á ondas diferentes. Por de contado, en las placas no hidratadas, la percepción de tales hojas es absolutamente imposible. Su existencia, pues, constituye pura revelación del método de hinchazón por el agua.

¿Cómo interpretaremos los referidos hechos? A nuestro juicio, y no obstante algunas irregularidades difíciles de comprender, la presencia de la capa especular, como la de las bandas finas subsiguientes, son datos armónicos con la teoría. Verosímilmente, la gruesa zona especular, iniciada ya en la misma superficie de la gelatina, corresponde á los

máximos de acción fusionados de las ondas más finas del espectro; es decir, de la porción invisible ó ultraviolada. La inscripción de estas menudas ondas se ha realizado en globo y difusamente, á causa de que el grano de la emulsión no es suficientemente fino para consentir una estratificación periódica y regular. En cambio, las ondas violadas y azules, tanto más amplias que las precedentes, han logrado ser registradas, si bien en pequeño número. En fin, las relativamente gruesas rayas que, en ocasiones, destacan entre las finas, corresponden quizás á los *máximos* de las ondas graves (verde, amarillo y rojo), que bien pudieran ser aquéllas para quienes la sensibilización cromática de la emulsión resulta más eficaz (*). Ocioso es decir que, según este parecer, la superficie de la gelatina en contacto con el mercurio, representa el primer plano nodal común á todas las ondas más ó menos distintamente registradas por la placa.

De lo expuesto infiérese fácilmente que la producción del blanco al nivel de las partes de la placa impresionada por todas las radiaciones luminosas no resulta de la mezcla y fusión de los efectos reflectores de múltiples estratos de Zenker, sino exclusivamente del poder reflector de una densa y opaca estratificación negra superficial, cuya opacidad guarda relación con el grado de brillantez del color. Nada tienen, pues, que ver con el fenómeno, las finas hojas de Zenker del espesor de la placa, ni, por tanto, procesos de interferencia, en este caso imposibles, á causa de la densidad de la citada zona especular. Que semejante interpretación es exacta, persuádenlo las siguientes experiencias:

1. Cuando se frota los blancos, el brillo de la placa

(*) Esta desigual impresionabilidad al verde, rojo ó naranja es desgraciadamente muy frecuente, comprobándose hasta en emulsiones que recibieron las mismas cantidades de eritrosina, cianina y rojo de glicina. Semejante defecto da lugar á que ciertas emulsiones no reproduzcan el blanco puro, sino el blanco rosáceo ó el blanco amarillento.

disminuye, pero sin aparecer los colores. Sólo cuando toda la zona especular ha sido descartada, se desvanece el blanco, cediendo su puesto al negro, ó á un gris más ó menos violáceo ó azulenco.

2. La iluminación oblicua de la placa provoca, según es sabido, en las partes coloreadas, un virado general del tono hacia la porción más refrangible del espectro: así, los naranjas se tornan amarillos; los amarillos, verdosos; los verdes, azules, etc., y este cambio de matiz se acentúa conforme se exagera el ángulo de incidencia. Semejante transformación cualitativa de la imagen á la luz oblicua, implica la estructura laminar de la gelatina, explicándose muy bien por el alargamiento del camino recorrido por las ondas de longitud inferior al doble de los intervalos interlaminares (*). Ahora

(*) Algunos autores, y singularmente Berthier (*Manuel de Photochromie interferentielle*, París. Gauthier Villards, 1895), suponen que la luz oblicua produce en las imágenes lippannianas un virado de los colores hacia la porción menos refrangible del espectro, es decir, hacia el rojo, en vez de virar hacia el azul y violado. Esta aserción, cierta en principio, no se confirma en el terreno de los hechos. La experiencia demuestra constantemente todo lo contrario, y además el cálculo viene en apoyo de la observación, mostrando la posibilidad del fenómeno.

En efecto, supongamos dos láminas de Zenker sucesivas, creadas por una onda de longitud λ' , y cuyo intervalo equivale, por tanto, á una semiondulación de este color. Designemos e este espacio interlaminar, δ la diferencia de ruta de los dos rayos reflejados, superficial y profundo, y λ' y λ'' , respectivamente, las longitudes de onda de dos radiaciones próximas cualesquiera. Mirada la imagen á la luz incidente normal, δ equivaldrá á $2e = 2 \frac{\lambda'}{2}$; por consiguiente, el

rayo λ' interferirá útilmente á su emergencia de la placa, extinguiéndose los demás. Bajo la influencia de la luz oblicua, dicho rayo simple no podrá prevalecer, sino otro de menor longitud, dado que el camino se habrá alargado en relación del coseno del ángulo de incidencia. La diferencia de marcha de ambas ondas, superficial y profunda, será ahora, por ejemplo: $\delta = 2e \cos. i = 2 \frac{\lambda'}{2} + \frac{\lambda'}{2}$. En tales condiciones, el rayo generador de las hojas de Zenker λ' será anula-

bien; la inclinación de la placa con relación á la luz incidente no produce ningún cambio de tinta en el blanco; prueba inequívoca de que este color no es producido por una estructura estratificada.

3. Ni el barnizamiento, ni una ligera hidratación, modifican sensiblemente el aspecto del blanco, al revés de lo ocurrido con las partes coloreadas.

3. Colores mezclados de blanco.—Los tonos mixtos de blanco y de un color dominante (marrón, pardo, crema, rosa, azul claro, etc.) son comunísimos en las buenas fotogramías, entrando por mucho en el carácter artístico de la reproducción, cuyo modelado resulta, principalmente, de una correcta distribución de las tonalidades apagadas. *A priori*, cabe ya imaginar, que los colores mixtos contendrán una zona especular superficial moderada (signo del blanco) y estratificaciones cuyos intervalos corresponderán á la nota fundamental. Y en efecto, así es. Citemos, á guisa de ejemplo, un corte de un blanco amarillento (fig. 6.^a). La superficie de la placa, exhibe la susodicha capa especular delgada dotada de regular transparencia; detrás, se observa una raya fina, pálida, próxima (c), correspondiente quizás al violado ó al ultravioletado; en fin, siguen dos ó tres rayas espaciadas, recias, separadas por amplios espacios nodales, que bien pudieran representar las hojas de Zenker del amarillo.

do, mientras que prevalecerá otro de menor longitud de onda, aquel en que $\delta = 2e \cos. i = 3 \frac{\lambda''}{2} + \frac{\lambda''}{2} = 2\lambda''$.

La contradicción estriba, en mi sentir, en que da como cierto que el intervalo de las dos láminas primeras creadas por las ondas estacionarias del rayo λ' , equivale exactamente á la mitad de la longitud vibratoria de éste; cuando, en realidad, y por consecuencia del refuerzo y otras operaciones fotográficas, dicha distancia e , suele ser bastante mayor. Por esto, á la luz normal, el color que suele prevalecer, no es el original, sino otro de onda más larga; lo que obliga á menudo á emplear la incidencia oblicua para restablecer la tinta natural.

La desigualdad de los intervalos de las hojas de Zenker, es fenómeno frecuente, pero no constante, de los colores compuestos. En algunos casos pudiera ser mera apariencia, motivada por la desigual hidratación de la gelatina. Así, por ejemplo, las zonas superficiales se dilatarían menos que las profundas. Mas en los casos en que el agua ha obrado largo tiempo y las rayas finas aparecen en plano superficial, difícil es no atribuir esta multiplicidad de espesores y distancias de las hojas de Zenker, á la inscripción simultánea de varias ondulaciones. De todos modos, jamás, ni en los colores mixtos ni en los blancos puros, quedan inscriptas todas las ondas del espectro visible.

Parecida estructura afectan los blancos azulencos, rosáceos, verdosos, etc.; todos ellos poseen, á más de la zona especular, un sistema de rayas, cuyos efectos ópticos se suman á la función reflectora del precipitado superficial. En todo caso, el limbo especular se continúa con la primera hoja de Zenker de la cual no puede distinguirse (figuras 15 y 11).

Análogamente á lo ocurrido con los colores puros (véase más adelante), estimamos probable que sólo sean aprovechados, para la producción interferencial cromática, las dos primeras hojas de Zenker, ó acaso las tres primeras, si como dejamos dicho, por debajo de la más superficial existe todavía cierto estrato secundario fino (fig. 11 c). A esta función cromática, habría que añadir el efecto apagador y como perturbador suscitado por la luz blanca, al reflejarse en la transparente zona especular, lavando y como diluyendo la tonalidad creada por las hojas de Zenker. Por lo demás, que esta capa ó limbo superficial, aunque pobre en precipitados, motiva el apagamiento del color, se prueba sometiendo la placa á la frotación ó á un rebajado moderado; maniobras que hacen desaparecer el tono blanquecino, avivando sucesivamente el color dominante, el cual acaba, si se continúa el raspado, por virar también hacia la porción más refrangible del espectro.

4. Análisis de los colores oscuros y de las manchas del gris.—Las tintas oscuras ó mezcladas de negro, resultan simplemente, como la teoría sugiere, de la transparencia y delicadeza de las láminas de Zenker. Supongamos un verde oscuro como el reproducido en la figura 16. Nótese que falta en absoluto la capa especular, aquí substituída por un plano nodal perfectamente incoloro. Repárese, además, en el escaso número de hojas de Zenker (cuatro ó cinco), y sobre todo en su delgadez notable, exquisita transparencia y tono ligeramente amarillento. Casos hay en que los estratos parecen formados de una sola fila de gránulos amarillentos. En cuanto á los espacios nodales, son puros, relativamente amplios y carecen en absoluto de precipitados. En condiciones tales, compréndese fácilmente que la placa refleje pequeñísima cantidad de la luz incidente y deje, por tanto, percibir el fondo negro del dorso del cristal (barniz de betún de Judea) (*). Ocioso es advertir que, cuanto más pálidas sean las hojas de Zenker, más oscuro resultará el color. Precisamente en tales casos es cuando los colores resisten mejor al barnizamiento,

(*) Los autores barnizan con un color negro el dorso del cristal, á fin de obtener los oscuros. Nosotros preferimos crear este fondo en la gelatina misma, para lo cual nos servimos de un recurso, á primera vista muy arriesgado y, sin embargo, inofensivo. Consiste en volver á exponer la placa revelada y reforzada (pero no fijada, naturalmente), á la luz difusa, revelando después en baño de amidol, es decir, en el mismo líquido aprovechado para el refuerzo. Esta exposición se efectúa por el dorso del cristal, y tiene lugar en la luz difusa durante varios segundos. Fórmase de esta suerte, detrás de la imagen lippanniana y por reducción del bromuro que quedó sin impresionar, una capa ó fondo negro, sobre el que destacan muy bien los colores.

Contra lo presumible, el revelador no altera las tintas, porque las capas de Zenker profundas preservan de la insolación las regiones superficiales, que son las que en definitiva generan el fenómeno interferencial. Además, las nuevas partículas de plata depositadas, tienen color negro azulado, en vez del pardo amarillo de la prueba originaria.

circunstancia bien comprensible si recordamos la exquisita transparencia de las láminas, las cuales pueden, en su totalidad, colaborar en el proceso interferencial.

5. Brillo y pureza de los colores interferenciales.—Todo el que haya practicado un poco el método fotocromático de Lippmann, habrá observado las más grandes diferencias relativamente al brillo y limpieza de los colores. Ciertas placas muy transparentes reproducen toda la gama del espectro, traduciéndola por tonos brillantes y puros; otras emulsiones dan igualmente la totalidad de los colores, mas sin esplendor y limpieza, como si estuvieran ocultos bajo un velo gris ó blanquecino; algunas, en fin, copian con más ó menos fidelidad ciertas tintas, de ordinario el rojo, el naranja y el amarillo, siendo incapaces de reproducir el verde, azul y violado.

No nos ocuparemos aquí de las condiciones experimentales en cuya virtud las emulsiones son más ó menos aptas para reproducir los colores y singularmente el blanco. De ello trataremos en otro trabajo. Nos concretaremos solamente á estudiar las causas físicas inmediatas del brillo del color, punto importantísimo que las investigaciones de Lippmann, Valenta y Neuhaus no esclarecen por completo, por no haber recurrido al análisis anatómico de la imagen lippmanniana. En este punto como en otros muchos relativos á la interpretación de las propiedades de la imagen lippmanniana, se han contentado los físicos con las previsiones de la óptica geométrica. Pero desgraciadamente, la realidad es infinitamente más compleja que nuestras fórmulas, y así, muchas singularidades de la imagen lippmanniana esperan todavía plausible explicación.

En el orden especulativo, la causa principal de estas lagunas é incertidumbres, ha sido extremar demasiado la teoría de Zenker, que se aplicó á la interpretación de los hechos de un modo absoluto y sin tener en cuenta las limitaciones prácticas impuestas á la concepción geométrica por la espe-

cial naturaleza de las reacciones fotoquímicas. En realidad, ni las hojas de Zenker son láminas rigurosamente lisas y bien deslindadas de los espacios nodales, ni afectan igual espesor y densidad, ni, por tanto, poseen esa uniforme y exquisita transparencia exigidas por la teoría, á fin de que todas ellas concurren útilmente y en adecuada proporción á la reflexión de la luz blanca incidente.

Limitándonos al punto concreto del brillo é intensidad del color interferencial, imaginan los autores, siguiendo á Zenker y Lippmann, que, dependiendo la cualidad cromática de la estructura laminar de la placa, cuanto mayor sea el número de estratos reflectores, más puros y vivos serán los tonos obtenidos. Y en principio así debe ser; mas la experiencia no se ajusta enteramente á lo previsto. Consignemos, desde luego, que los estudios efectuados por nosotros en un gran número de placas de brillo cromático diverso, revelan que ciertas imágenes, formadas por diez ó doce estratos regulares y bien aparentes, dan colores menos brillantes que algunas otras, donde sólo fueron reconocidas tres ó cuatro hojas de Zenker, singularmente vigorosas y correctas. No depende, pues, exclusivamente la brillantez del color del número, sino de la *calidad* de las láminas y espacios nodales.

Para formular de una vez nuestro pensamiento, en que se sintetizan los datos recogidos en cientos de observaciones cuidadosas, declararemos que, en la inmensa mayoría de los casos, el color es producido casi exclusivamente por la reflexión de la luz (y consiguientes interferencias) en las superficies exteriores de las dos primeras hojas de Zenker. Las hojas profundas, á partir de la tercera, suelen ser completamente inútiles (salvo algún caso) para la formación de la imagen coloreada: 1.º, porque ni reciben luz en cantidad suficiente, ni pueden transmitir eficazmente al exterior la poca recolectada; 2.º, porque careciendo tales estratos de límites correctos y de espacios nodales incoloros, las ondas no son en ellos convenientemente analizadas, produciéndose disper-

siones que se traducen en radiaciones difusas, más ó menos grises, semejantes á las reflejadas por el dorso de la gelatina.

En la mayoría de los casos, por consecuencia del enrejamiento de la primera lámina de Zenker y desaparición del primer plano nodal ó zona limitante (placas reforzadas, etc.) á los rayos incidentes reflejados en dicha lámina, se agregan los enviados por la superficie de la gelatina. Prácticamente, pues, el primer plano de reflexión hállase en la superficie de la placa, estando representado principalmente el otro, según dejamos consignado más atrás, por la segunda hoja de Zenker.

He aquí las principales experiencias en que se funda este dictamen, experiencias sencillísimas y fáciles de interpretar.

1.^a Cuando se barniza la placa con un líquido cuyo índice de refracción sea igual ó aproximado al de la gelatina desecada, los colores palidecen notablemente y á menudo desaparecen por completo. Esta desaparición hémosla comprobado, tanto en imágenes de tonos brillantes, como en las de matices apagados, y lo mismo en las formadas de pocas, que en las compuestas de muchas hojas de Zenker. Sin embargo, en casos excepcionales, los colores palidecen menos; pero esto no depende del número excepcional de las hojas, sino de la exquisita limpieza y relativa transparencia de las tres ó cuatro primeras estratificaciones, cuyos intervalos nodales se muestran absolutamente libres de precipitados (*).

2.^a Frotando suavemente la placa desecada con un tapón de algodón, empapado en alcohol absoluto, reconócese *con absoluta constancia y cualquiera que sea el brillo del color,*

(*) A esta, relativamente rara categoría de imágenes cuyos estratos, sumamente transparentes y limpios, concurren en gran número al fenómeno de las interferencias, pertenecen sin duda las buenas pruebas barnizadas, exhibidas por Lippmann y Lumiere. Para que una fotocromía soporte sin grave pérdida cromática el barnizamiento, es preciso que alcance un brillo desusado; brillo que, por desgracia, no dan la inmensa mayoría de las emulsiones.

que las tintas derivan rápidamente hacia el lado de la porción más refrangible del espectro. Así, frotando el color rojo, tórnase primero naranja, luego amarillo, después verde, y, por último, azul y violeta, matices que se conservan indefinidamente en la placa desecada, y que no son debidos, por tanto, ni á excesiva desecación, ni á fenómenos de hidratación (la hidratación obraría, en todo caso, en sentido contrario), sino á las erosiones sufridas por la capa limitante y primera lámina de Zenker. Esta experiencia, ya efectuada por Neuhaus, fué presentada por este sabio como un argumento singularmente comprometedor para la teoría de Zenker y Lippmann. «Los colores frotados—afirmaba discretamente el doctor berlinés—deberían cambiar, no de tono, sino de intensidad, disminuyendo de brillo, en relación al número de estratos reflectores suprimidos.» Y en virtud de tan racional argumento, Neuhaus emitió algunas dudas sobre la existencia de las susodichas láminas, congeturando que los colores de las placas lippmannianas pudieran depender del espesor de la gelatina, espesor variable para cada tinta é igual al de la semilongitud de onda. Pero hoy, después de haber demostrado dicho sabio la existencia real de las láminas de Zenker, semejante dictamen resulta insostenible. Es singular que en su moderno libro de Fotocromía (*), nada nos diga Neuhaus acerca de este punto, pareciendo abandonar su antigua opinión; por donde el referido fenómeno queda enigmático y sin enlace con la teoría.

3.^a Examinando con una lente de 20 á 30 diámetros de aumento la superficie de la gelatina frotada, reconócese tantas gradaciones de tonos espectrales, como escalones ó grados de profundidad ofrece el raspado.

4.^a Continuando el frote más allá de la aparición del violeta, los colores se desvanecen definitivamente, y, sin embar-

(*) R. Neuhaus: Die Farbenphotographie nach Lippmann's Verfahren. *Neue Untersuchungen und Ergebnisse*. Halle, 1898.

go, la región desnuda de la imagen no ha perdido su vigor mirada por transparencia.

5.^a En las pruebas pasadas de exposición, donde suele faltar la primera lámina de Zenker, el barnizamiento (que obra apartando notablemente el primer plano de reflexión, ó sea la gelatina) desvanece total y radicalmente los colores, sin embargo de no haber alterado sino la distancia de una superficie reflectora.

6.^a El brillo de los colores, según dejamos consignado ya, es independiente del espesor de la placa, y, por tanto, del número de hojas de Zenker. A veces, las placas más delgadas suministran colores notablemente espléndidos.

7.^a En fin, y ésta es la razón decisiva, examinando al microscopio cortes finos de pruebas frotadas, manifiéstanse estos dos hechos; *a*, al nivel de los parajes en donde, por la debilidad del roce, sólo hubo cambio de tono cromático, aparecen conservadas todas las hojas de Zenker, mostrándose solamente desgastada la primera; *b*, las regiones en donde, por excesivo desgaste, perdióse definitivamente el color, mantienen todavía sus estratos metálicos, exceptuando el primero y la zona limitante (fig. 10 a).

Por lo demás, admitido que el proceso diferenciador de la luz blanca, tiene lugar de preferencia entre las dos primeras láminas de Zenker, nada más fácil de explicar, dentro de la teoría clásica, que los citados cambios de color producidos por el frote. El desgaste lento, provocado por el pulido de la gelatina seca con un copo de algodón empapado en alcohol, obra parsimoniosamente, adelgazando desde luego la zona limitante (cuando existe) y primera hoja de Zenker, cuyo intervalo con la segunda, va pasando sucesivamente por todos los valores de semilongitud de onda intermediarios entre el rojo (suponiendo roja la parte desnuda) y el violado. Cuando, descartada la primera hoja, la superficie de la gelatina está formada por cualquiera de los niveles del segundo espacio nodal, el intervalo entre los dos planos reflectores

(superficie de la placa y segunda hoja de Zenker) es ya menor que la semionda del violado, y ningún color puede, por tanto, prevalecer, sumando sus amplitudes. Por cierto que las citadas experiencias, parecen probar que el fenómeno interferencial tiene lugar, no en las dos superficies de cada hoja de Zenker, sino exclusivamente en la externa ó periférica, ya que el menor avance de ésta hacia el espacio nodal, modifica profundamente el tono del color (fig. 10 a).

6. **Análisis de las pruebas emblanquecidas por sobre-refuerzo.**— El estudio que hemos hecho del blanco nos permitirá comprender ahora muy fácilmente la causa de un fenómeno que sobreviene en las porciones coloreadas de la imagen cuando se extrema el refuerzo (baño de sublimado y ennegrecimiento en sulfito con amidol), ya antes, ya después del fijado.

Dejamos apuntado ya que el refuerzo engruesa los granos del precipitado metálico, aproximándolos entre sí y aumentando en consecuencia el poder reflector de las hojas de Zenker, singularmente de la inicial, la más abordable á los reactivos.

Mientras los granos de la primera estratificación metálica conserven cierta transparencia (primer refuerzo), el color no se modifica sensiblemente (salvo que hay que mirarlos con oblicuidad), dado que una parte de los rayos incidentes puede abordar la hoja segunda para reflejarse en sentido retrógrado. Mas, si como suele ocurrir, después del segundo refuerzo, la hoja inicial de Zenker toma extraordinaria opacidad, el equilibrio de las funciones reflectoras de las dos primeras láminas se rompe, dominando notablemente el haz reflejado en el estrato superficial. En su consecuencia, el color adquiere aspecto blanquecino sucio, y la opacidad será tanto mayor cuanto más recios sean los granos metálicos de la hoja tangencial. En los reforzados vigorosos y singularmente al nivel de las porciones energicamente iluminadas de los objetos coloreados, la cualidad cromática se desvanece

por completo, presentándose la imagen como inundada por un velo lechoso.

En las figuras 7.^a, 8.^a y 9.^a reproducimos el cambio de aspecto que exhiben los cortes del color verde casi puro, antes y después del refuerzo. En la porción no reforzada, las zonas de Zenker son pálidas y de finísimos granos, faltando por completo depósitos metálicos en el limbo tangencial (fig. 7.^a); la luz puede por tanto abordar la segunda y tercera láminas sumándose eficazmente la capacidad analítica y reflectora de las mismas. Pero las cosas han variado en la fig. 9.^a, donde reproducimos un corte del mismo color después de haber sufrido dos refuerzos. Nótese que todas las láminas se han tornado muy opacas, sobre todo la primera, que funciona como la hoja especular del blanco y contiene gránulos singularmente groseros; repárese, además, un pronunciado aumento de espesor de cada estrato con el consiguiente abultamiento general de la gelatina. En fin, el limbo tangencial ha desaparecido por completo invadido por la zona especular (*). La figura 8.^a revela el aspecto del mismo color después de un simple refuerzo.

En suma, y como fruto práctico de esta exploración de las imágenes superreforzadas, despréndese la siguiente regla: las fotocromías de Lippmann deben intensificarse una vez para generar los blancos, pero jamás dos veces si no queremos transformar la hoja primera en capa especular impermeable y suprimir por ende los efectos de interferencia cromática producidos por estratificaciones profundas (la segunda sobre todo).

7. Análisis de las placas sobreexpuestas.—Ya á la simple vista, la imagen sobreexpuesta exhibe blancos sin brillantez

(*) , El siguiente experimento confirma los resultados del análisis micrográfico. Si se frota suavemente el paraje, emblanquecido por refuerzo, de una imagen coloreada, el velo lechoso desaparece y la tinta original vuelve á presentarse aunque con alguna alteración.

(grises ó rosa) y colores más ó menos puros, pero en todo caso desprovistos de modelado, es decir, reducidos á meras siluetas cromáticas. El análisis micrográfico da fácil cuenta de este fenómeno que constituye uno de los percances más frecuentes y molestos del proceder fotocromico interferencial.

A nivel de los colores, dichas placas ofrecen hojas de Zenker construidas por un precipitado fino, amarillento, extraordinariamente pálido, que deja pasar los rayos luminosos hasta los estratos subyacentes, de ordinario más numerosos que en las pruebas justas de exposición. Además, los espacios nodales se hallan más ó menos impresionados, encerrando delicada granulación grisácea, con que el contraste entre las láminas é interláminas disminuye notablemente (figura 13). En fin, la primera hoja de Zenker falta por completo ó está reducida á una franja pálida y vagamente diseñada (figuras 12 y 13); palidez que, bastante menos acusada, puede advertirse también en la zona segunda. Ocioso es decir que este fenómeno depende de la fatiga de la región superficial de la capa sensible, la cual, solarizada con exceso, ha perdido aptitud para reducirse en color oscuro.

La región del blanco de las placas sobreexpuestas exhibe capa especular notablemente pálida y transparente, pudiendo hasta faltar por completo si la solarización ha sido considerable. Escasos de poder reflector, sus granos son pálidos, menudos, amarillentos y casi imperceptibles. Tras la capa especular siguen varias rayas finas sin contraste y un extenso territorio de reducción irregular y relativamente enérgico que suele prolongarse hasta el cristal.

8. Alteración de los colores por exceso de revelación ó refuerzo.—La menor transgresión en el tiempo de exposición trae consigo, según hemos apuntado más atrás, el falseamiento de los colores y la pérdida del blanco. Se exceptúan solamente los colores rojo y naranja, los cuales por su exiguo poder fotogénico ganan más que pierden con una sobreexposición moderada.

Pero la cualidad cromática de la imagen se altera también por sobrerrevelar ó reforzar demasiado, aunque se trate de placas justas y aun escasas de exposición. Cuando el daño no es excesivo (y esto ocurre en la mayoría de las buenas fotocromías), todo se reduce á contemplar la imagen con luz algo oblicua; mas si el defecto alcanza ciertas proporciones, los colores se falsean tanto, que ni aun la luz moderadamente oblicua restablece la tonalidad natural del modelo.

El análisis micrográfico nos enseña que tales cambios de coloración se deben al encrecimiento de la primera hoja de Zenker, que se extiende hasta la superficie de la gelatina. Alteradas de esta suerte las rutas de los rayos superficial y profundo que deben interferir, el camino total se alarga en una fracción de semionda. No será, pues, la ondulación productora de las hojas de Zenker la que prevalecerá cuando sea iluminada la placa con una incidencia normal ó casi normal, sino una ondulación de longitud mayor. Para restaurar la tonalidad natural, será preciso, según dejamos explicado más atrás, recurrir á la iluminación oblicua, para que alargada la ruta con el valor del coseno del ángulo de incidencia, pueda la onda originaria ó creadora de las láminas de Zenker sumar sus efectos en el proceso interferencial (*).

Pero se dirá: ¿en virtud de qué condición se ha espesado la primera lámina de Zenker con exclusión de las demás?

En primer término, esta hoja es la más accesible á los re-

(*) En efecto: suponiendo que λ' sea la longitud de onda del rayo productor de las hojas de Zenker, accidentalmente separadas un cuarto de espacio; δ la diferencia de ruta de los rayos que deberá interferir, y e el espacio interlaminar, tendremos: $\delta = 2e + 2 \frac{e}{4}$. No podrá, en consecuencia, prevalecer la onda originaria sino mirando la imagen bajo un ángulo tal, que $\delta = 2e + \cos.i + 2 \frac{e}{4}$ resulte $= 2 \frac{\lambda'}{2} + 2 \frac{\lambda'}{4} = 2\lambda'$.

activos y sufre por ende predilectamente la acción reforzadora, sobre todo cuando la exposición ha sido justa ó débil. Pero también podría colaborar la zona tangencial proporcionando, gracias á la cantidad de blanco inherente á todo color mixto, una floja y transparente capa especular que se agregaría á la primera lámina de Zenker. Quizás en virtud de este último motivo, el exceso de revelación, fatal á los colores naturales ó mezclados, no suele provocar casi nunca cambios de tono en las radiaciones puras ó espectrales, ni siquiera en las copias de los modelos comunes (frutas, flores, árboles, etc.), cuando se tiene la precaución de moderar el excesivo actinismo de los blancos, azules y violetas á favor de cristales amarillo verdosos puestos delante del objetivo (*ecran*) (*).

Ocasiones hay, sin embargo, en que aun con los colores más puros se dan alteraciones cromáticas sin que al parecer entre en juego otra condición que el exceso de activismo de la luz. Nos referimos á uno de los accidentes más deplorables y frecuentes del proceder de Lippmann: á la transformación en blanco de los azules y violados. Esta metamorfosis no trae su origen del empastamiento de los espacios nodales, sino pura y sencillamente del exceso de opacidad de las hojas de Zenker, particularmente de la primera que obra á guisa de pantalla impenetrable. Poco importa, pues, que los espacios nodales y hojas subyacentes se hallen bien diseñados, ni que la zona tangencial haya sido respetada; las

(*) Para cerciorarnos bien de esta propiedad purificadora del *ecran* hemos ejecutado muchas fotografías lippmannianas de un mismo modelo (cesto de frutas y flores); unas con filtro amarillo verdoso, otras sin él. El resultado constante ha sido eliminar, aun en los casos de ligero exceso de exposición, con algo de sobrerrevelación, el susodicho defecto del virado hacia la porción menos refrangible del espectro. Por lo demás, el filtro cromático, sólo debe actuar durante la mitad de la exposición, ó algo menos, so pena de obtener imágenes con blancos débiles y amarillentos. Lo mejor es trabajar sin *ecran*, pero acertando exactamente en la exposición y revelación.

ondas no pueden llegar hasta ellas ni desarrollar, por tanto, el fenómeno interferencial.

El remedio consiste en el empleo de los rebajadores, los cuales, moderando la susodicha opacidad, permiten la penetración de la luz en las capas profundas. En cuanto á la profilaxis, redúcese al empleo de pantallas ligeramente amarillentas á fin de debilitar la acción excesiva de las ondas breves del espectro.

9. Falseamiento de los colores por humedad de las placas.

Aunque generado por otro mecanismo que la sobrerrevelación, parecidos efectos que ésta acarrea al empleo, durante tiempos húmedos, de placas demasiado secas. Las hojas de Zenker, correctamente impresionadas y fijadas, apártanse considerablemente bajo la acción de la higrometricidad del aire; de donde resulta el tantas veces aludido defecto, á saber: que la imagen, mirada á la luz normal, vira hacia los colores de onda más larga. Así, los verdes se hacen amarillos, y éstos, naranjas ó rojos, etc. La profilaxis consiste en equilibrar higrométricamente la placa con la atmósfera antes de ponerla en chasis. Un expediente, bastante preligroso, es la disminución del grano de las hojas zenkerianas á favor del rebajador (cianuro diluido (*)). En fin, en último término, apelaremos á la iluminación muy oblicua.

10. Falseamiento de tono de las porciones de la placa poco impresionadas.—Ocurre á menudo en las placas débilmente

(*) Los rebajadores, y singularmente el cianuro potásico diluido, usados con exquisitas precauciones, restauran la normalidad del color de las placas sobrerreveladas ó hinchadas por la humedad; pero, además de que los blancos sufren grave menoscabo, después de cierto tiempo el grano de bromuro palidece excesivamente y la imagen acaba por deteriorarse. He aquí por qué nosotros hemos renunciado definitivamente á los rebajadores. Sólo alguna vez nos servimos de ellos; pero por acción local, al objeto de restaurar el color en los azules y violados. Este retoque, que se verifica con un pincel fino empapado en solución débil de cianuro de potasio, tiene lugar en las placas mojadas.

impresionadas ó en los parajes correspondientes á la sombra de un objeto colorido, que la imagen, en vez de reproducir fielmente el color natural, traduce una tonalidad diferente y por lo regular correspondiente á una ondulación más refrangible. Es el defecto contrario al de las placas sobrerreveladas y sobrerreforzadas.

Así, las sombras de una cabeza de mujer (iluminación solar) preséntanse verdosas ó amarillo verdosas en vez de rosáceas ó parduscas; una naranja, normal de color en su porción iluminada, exhibe una tinta verde pura al nivel de sus sombras, etc. (Fig. 16.)

Estas y otras incongruencias cromáticas de las partes oscuras ó débiles de exposición reconocen por condición principal, según resulta de nuestros análisis micrográficos, el proceso de la fijación (acción del cianuro ó el hiposulfito de sosa). En efecto, en el ejemplo de la naranja, la placa fué impresionada, tanto del lado de la luz como del de la sombra, por la radiación correspondiente modificada solamente en intensidad (excluimos los reflejos de objetos próximos, que en este caso tienen poca importancia); mas al nivel del área bien iluminada produjéronse hojas de Zenker, espesas y numerosas, mientras que al nivel de la sombría estas láminas resultaron finísimas y pálidas, como que en ocasiones constan de una sola fila de gránulos amarillentos.

La causa de ello es que durante la operación del fijado el bromuro de plata intercalar se disolvió en tanta mayor cantidad cuanto más débil fué la exposición; de donde resultó que las hojas delgadas de las partes sombrías se aproximaron al secarse la gelatina, en tanto que las de las iluminadas, más pobres en bromuro soluble, apenas alteraron sus distancias.

La enseñanza práctica de este fenómeno, cuyo mecanismo extrañamos haya pasado desapercibido de los cultivadores del método de Lippmann, es *que no deben ser fijadas las pruebas interferenciales, porque la desaparición del*

grano de bromuro de plata produce el aplastamiento general de los planos nodales, y, por tanto, el falseamiento del color.

En su consecuencia, nosotros no fijamos las pruebas, y desde que procedemos de esta suerte hemos descartado definitivamente las aberraciones cromáticas de los oscuros y de las placas cortas de exposición. Recordemos que el bromuro de plata no impresionado, pero bien lavado y exento de reductores, es incapaz de ennegrecerse por la luz directa.

Se nos argüirá acaso que Lippmann, Lumière, etc., han obtenido y obtienen excelentes fotocromías, no obstante fijar las placas con cianuro de potasio é hiposulfito. Pero á esto respondemos que acaso dicha fijación sea más aparente que real. Por de pronto, no tenemos criterio alguno seguro para cerciorarnos de que la placa ha sido fijada por completo, puesto que tan transparente é insensible á la luz se muestra antes como después de la operación: esta circunstancia, junto con la rapidez insólita con que los autores proceden á la fijación con cianuro (varios segundos de acción) por temor á la pérdida de las medias tintas, autorizan á sospechar que en tan breve lapso de tiempo no ha podido ser totalmente eliminada de la gelatina la sal argéntica.

En nuestro sentir, la fijación completa, cuando todas las otras operaciones (exposición, revelación, refuerzo, etc.) se ha conducido bien, ocasiona como mínimo de aberración la inclinación del color hacia el lado más refrangible del espectro (incidencia normal ó casi normal); accidente irremediable, ya que no cabe el recurso de apelar á la iluminación oblicua que exageraría todavía más la desviación del tono. Y si el fenómeno en cuestión se da con menos frecuencia que el contrario (distancia excesiva de los espacios nodales), ello consiste en el hábito de reforzar vigorosamente, el cual compensa hasta cierto punto, aunque no en todos los parajes de la imagen, la disminución del intervalo de las hojas zenkerianas (espesamiento preferente de la primera).

De lo expuesto en este y otros pasajes del presente trabajo se infiere, que el defecto más común de las fotocromías del proceder de Lippmann, consiste en la alteración casi inevitable de las distancias normales de las hojas de Zenker; alteración provocada por el mecanismo de acción de las operaciones fotográficas. En ciertos casos (fijado completo, corrotura de exposición, flojedad de revelación, etc.), las láminas se aproximan demasiado y los colores viran hacia el azul; en otros, mucho más numerosos, por el contrario, las citadas láminas se espesan y apartan, derivando los colores hacia el rojo. Este último defecto, que se compensa ópticamente á favor de la iluminación oblicua de las pruebas, sobreviene por condiciones múltiples: humedad de la atmósfera, sobrerrevelación y sobrerrefuerzo, exposición excesiva, influencia perturbadora de los rayos ultravioletas y del blanco en los colores espectrales impuros, etc.

II. Hojas de Zenker en las placas expuestas sin mercurio.

Las ya antiguas investigaciones de Krone, y las más recientes de Rothé, han demostrado la posibilidad de obtener con las placas lippmannianas colores interferenciales sin el concurso del baño de mercurio. Los así logrados son poco brillantes y exigen una exposición notablemente prolongada. Como que las ondas estacionarias modificadoras de la capa sensible, resultan del encuentro de los rayos incidentes, que cruzan la gelatina, con la exigua cantidad de los reflejados en el límite posterior de la placa, es decir, en la capa de aire fronteriza.

Nosotros hemos repetido esta interesante experiencia y conseguido reproducciones relativamente buenas de los colores de onda breve (violado al verde); pero menos que medianas del rojo y del naranja y amarillo. El examen de los cortes microtómicos revela de todos modos la existencia de legítimas hojas de Zenker, aunque poco numerosas y separadas por espacios nodales algo cargados de precipitado. En la fig. 17, mostramos un corte del color azul. Nótese que las líneas de Zenker no pasan de tres ó cuatro, constando de

granos sumamente finos; la segunda es, de todas, la más obscura y mejor diseñada. Al nivel de la zona limitante no existe ningún precipitado, lo cual revela que lo mismo que en las placas al mercurio la superficie representa el primer plano nodal.

También los blancos del proceder sin mercurio coinciden con los del método de Lippmann; detrás de una capa especular densa y delgada, se entrevén algunas finísimas rayas, que degeneran luego en precipitado gris irregular.

CONCLUSIONES

De este largo y pesado estudio sobre la estructura de las imágenes lippmannianas se desprenden las siguientes conclusiones:

1.^a Conforme á las observaciones de Neuhaus, los colores espectrales constan de una serie de estratificaciones metálicas separadas por espacios nodales incoloros. Estas láminas comprenden el tercio ó la mitad del espesor de la gelatina, mostrándose correctas y bien separadas cerca de la superficie libre y sucesivamente más vagas y difusas conforme se alejan de ésta.

2.^a Entre la primera lámina de Zenker y la superficie existe á veces un limbo claro, correspondiente al primer espacio nodal; pero frecuentemente desaparece á causa del refuerzo de la prueba.

3.^a Los colores de los objetos naturales, dan imágenes cuya estructura coincide, en principio, con la de las radiaciones del espectro.

4.^a El blanco depende de la presencia en el primer plano de la gelatina de una densa lámina metálica, dotada de gran poder reflector, es decir, formada por un precipitado opaco, oscuro y apretado. Detrás siguen algunas finas y próximas estratificaciones correspondientes verosímilmente á las ondas más breves del espectro visible.

5.^a Los colores mezclados de blanco constan, además de sus estratos peculiares, de una delgada capa tangencial donde residen precipitados metálicos (*zona especular*).

6.^a En ciertos casos, tales colores exhiben dos clases de láminas de Zenker: gruesas y distanciadas, pertenecientes á ondas graves (color dominante), y una ó dos finas y pálidas correspondientes á ondas de exigua longitud.

7.^a El fenómeno interferencial en cuya virtud se dan los colores en las imágenes lippmannianas, resulta preferentemente del encuentro de los rayos reflejados en la primera con los reflejados en la segunda hoja de Zenker. Las demás láminas actúan muy débilmente, representando disposiciones de refuerzo.

8.^a La buena reproducción de los colores está esencialmente ligada á la correcta limitación y perfecta transparencia de dichas láminas iniciales, así como al mantenimiento del valor normal de los espacios nodales. Todas las causas capaces de turbar el equilibrio de intensidad y espesor de las dos citadas hojas (exceso de exposición, revelación demasiado enérgica, refuerzo inconveniente, etc.), ó la amplitud de los espacios nodales (fijado, humedad del aire, etc.), alteran los colores naturales provocando matices falsos é incongruentes. Por donde se ve que las graves dificultades del método interferencial consisten: *a*, en mantener fielmente en la prueba terminada la misma y estricta distancia interlaminar creada por la luz coloreada durante la exposición y no obstante la acción aplastadora del fijado y la dilatadora del refuerzo; *b*, en evitar la opacidad y engrosamiento considerables de la primera hoja de Zenker, á despecho de la necesidad imprescindible de fortalecer los blancos de la imagen. Manejar sutil y habilísimamente estas dos condiciones contradictorias, neutralizándolas ó anulándolas en lo posible, constituye el arduo cometido que deben llenar los cultivadores entusiastas del método interferencial.

Madrid 20 de Junio de 1906.

EXPLICACIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1.^a — Corte de la gelatina al nivel de un punto rojo puro ó casi puro. (Hinchazón en el agua y examen con el obj. 1,40, 2 milímetros, apochr. de Zeiss.) Luz central blanca: a, zona limitante; b, primera hoja de Zenker; c, segundo espacio nodal; d, hojas de Zenker profundas vagamente limitadas; e, formación no estratificada.

Figura 2.^a — Corte del color azulado. (En el grabado, las bandas profundas aparecen mal diseñadas y exageradas.) Iguales condiciones de examen que en la figura anterior.

Figura 3.^a — Corte del rojo en la gelatina seca, es decir, no sometida á la hidratación. Examen en bálamo del Canadá. — Luz central monocromática.

Figura 4.^a — Corte del color amarillo verdoso. Iguales condiciones de la figura anterior, es decir, gelatina desecada y montada en bálamo: obj. 1,40. Es imposible detallar la zona limitante ni las granulaciones de cada estrato.

Figura 5.^a — Corte de un blanco puro y brillante. (Gelatina hidratada.) — a, capa especular opaca; b, rayas finas subyacentes.

Figura 6.^a — Corte de un blanco amarillento. a, zona especular; c, raya fina; d, rayas del amarillo.

Figuras 7.^a, 8.^a y 9.^a — Efectos del refuerzo en el color.

La figura 7.^a muestra el color no reforzado (el grabado presenta las rayas demasiado oscuras); la figura 8.^a, el mismo tono pero después de la intensificación en el sublimado; en fin, la figura 9.^a, después de dos refuerzos sucesivos. Nótese que el grano, apenas visible en la figura 7.^a, se hace recio y negro en la 9.^a

Figura 10. — Color rojo, del que, por frotación, se disminuyó el espesor de la primera hoja de Zenker, mostrando fajas de azul y verde.

Figura 11. — Corte de un verde claro emblanquecido por sobreexposición y sobrerrevelación. b, zona especular; c, raya fina del blanco. Las otras bandas corresponden al verde.

Figura 12. — Corte de un azul pasado de exposición. Adviértase la palidez de la primera hoja de Zenker (e) y ausencia de zona especular.

Figura 13. — Corte del color naranja sobreexpuesto. Falta asimismo en f la primera lámina de Zenker, mostrándose todavía la segunda bastante pálida.

Figura 14. — Corte de un azul claro ó mezclado de blanco. a, zona especular; b, fina raya secundaria.

Figura 15. — Corte de un amarillo claro de matiz de limón. La primera hoja de Zenker tiende á convertirse en zona especular.

Figura 16. — Corte de un verde, corto de exposición y sobriamente revelado, que correspondía á la sombra de una naranja. Repárese la delicadeza y transparencia de las hojas de Zenker (en el grabado están notablemente exageradas).

Figura 17. — Corte de las hojas de Zenker del azul de una placa expuesta sin baño mercurial.

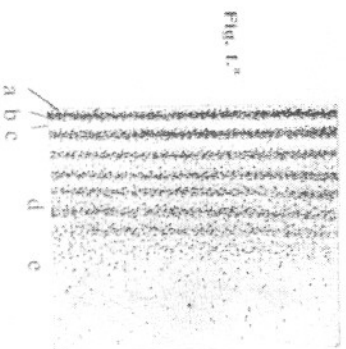


Fig. 1. a

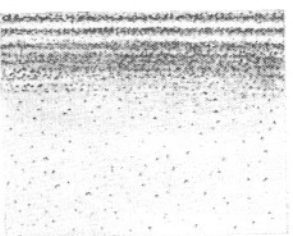


Fig. 2. a

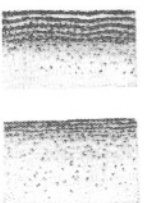


Fig. 3. a

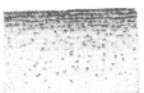


Fig. 4. a

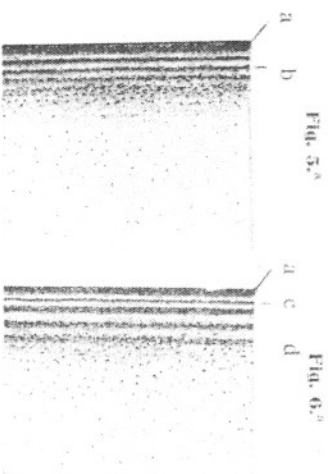


Fig. 5. a

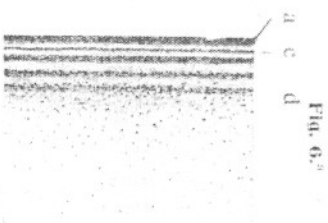


Fig. 6. a



Fig. 7. a



Fig. 8. a



Fig. 9. a

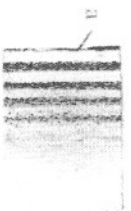


Fig. 10.

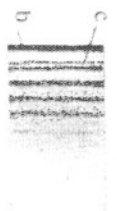


Fig. 11.

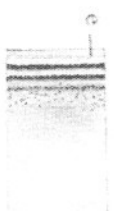


Fig. 12.



Fig. 13.

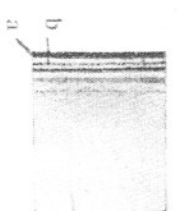


Fig. 14.



Fig. 15.



Fig. 16.

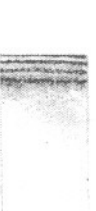


Fig. 17.