

Optica "T" o antirreflejante

Por M. PENCHE

Teniente Coronel de Aviación.

Cuando un haz de rayos luminosos incide sobre un cuerpo y éste es transparente, una parte de los rayos penetra y otra se refleja. La cantidad de luz reflejada es variable y depende de la intensidad de la luz incidente, de la naturaleza y estado de la superficie sobre la que se refleja y del ángulo de incidencia.

Esta propiedad de reflejar la luz alcanza el mayor valor en las superficies metálicas pulimentadas y en los espejos, cuyas múltiples aplicaciones son conocidas. Pero otras veces la luz reflejada es muy perjudicial; por ejemplo, todos los que han volado de noche en aviones no muy modernos recordarán las molestias producidas por los reflejos de las luces del interior sobre los cristales que cubren los indicadores de a bordo.

Examinemos con algún detalle lo que sucede cuando un haz de rayos luminosos incide sobre un cristal, pudiendo ser éste de superficie plana o esférica, como en las lentes.

Al pasar la luz del aire al vidrio, una parte de la energía luminosa, que puede llegar a valer hasta un 8 por 100 de la incidente, es rechazada sin penetrar en aquél. Si los vidrios están encolados, como sucede en algunas de las lentes de los objetivos fotográficos, la pérdida es menor de un 2 por 100.

La luz reflejada no llega al ojo, ni impresiona la emulsión sensible en el caso del objetivo; así que es una energía perdida, y como los instrumentos ópticos tienen varias lentes, las pérdidas por reflexión son muy importantes. Pero no es esto sólo, sino que las luces reflejadas en el interior de las lentes siguen trayectorias distintas de las que ha previsto el constructor del objetivo, lo que hace que disminuya la nitidez de las imágenes. Este defecto se observa al hacer fotografías a contraluz o de noche de objetos muy luminosos, pues las distintas superficies de las lentes actuarán como espejos, cóncavos o convexos, dando lugar a imágenes

parásitas; claro es que el fenómeno se verifica igual en toda clase de fotografías, pero entonces las imágenes parásitas no tienen intensidad suficiente para impresionar la emulsión sensible.

Hemos dicho que se pierde de un 5 a un 8 por 100 de la energía luminosa al pasar del aire al vidrio; es decir, de 5 a 8 por 100 por cada superficie, y como los instrumentos ópticos tienen un número de lentes que varía generalmente entre cuatro y doce, la pérdida es considerable: de un 30 a un 40 por 100, dándose el caso, que parece paradójico, de que la pérdida es mayor cuanto mejor y más costoso es el objetivo. Es decir, que se desperdicia más cantidad de luz en un objetivo Sonnar de luminosidad 1:1,5 (figura 1), que en un antiguo Tessar 1:6,3, ya que actualmente para conseguir un objetivo de gran luminosidad—término impropio, pero el más usado—han de emplearse varias lentes, de seis a ocho; en cambio, el Tessar tiene solamente cuatro lentes.

Aunque desde hace mucho tiempo se ha intentado suprimir estos reflejos perjudiciales, es posible que las necesidades y exigencias de la pasada guerra hayan sido las que han hecho que las casas constructoras

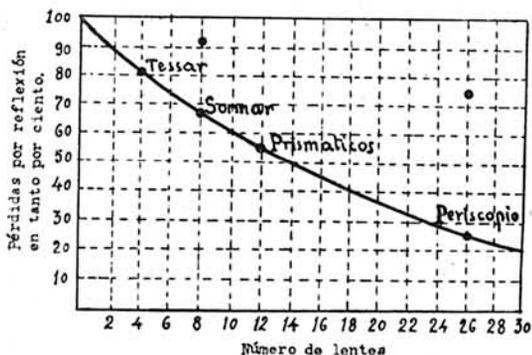


Figura 1.—Pérdidas por reflexión en tanto por ciento según el número de lentes. En el caso de lentes recubiertas, la curva pasaría por los puntos que están en la parte superior: se ve que en el periscopio del submarino se triplica la transparencia.

se dedicaran al estudio a fondo de este problema.

Antes de seguir adelante, diremos que la óptica «T» (denominación empleada por la casa Zeiss) consiste en recubrir las superficies de las lentes—tanto las que están en contacto con el aire como las encoladas—de una capa muy delgada, que tiene la propiedad de disminuir, hasta casi anular, los reflejos.

Es difícil saber quién o quiénes fueron los primeros que intentaron dar a las lentes las propiedades de la óptica «T», porque las casas constructoras no daban a conocer los procedimientos empleados y guardaban en secreto sus experiencias. Parece que los primeros ensayos fueron hechos por Taylor y Goerz a finales del siglo pasado, quienes observaron que un objetivo viejo, que presentaba las irisaciones características que producen la humedad y la oxidación, resultaba más luminoso que otro nuevo del mismo tipo. A partir de esa fecha, todas las casas constructoras de objetivos trabajaron para producir artificialmente una modificación en las superficies de las lentes que disminuyera la luz reflejada, pues, claro es, no se puede aconsejar exponer al aire y a la humedad un objetivo para obtener las propiedades buscadas, ya que en la mayoría de los casos no se conseguirá más que deteriorarle, por pérdida de transparencia del bálsamo del Canadá con que están unidas las lentes, por el riesgo de que se despeguen, etc.

En la guerra de 1914-1918, una importante casa americana de óptica trató de producir la capa antirreflejante en las lentes de los periscopios de los submarinos; los resultados obtenidos entonces no fueron muy buenos; pero como estos aparatos tienen muchas lentes, de 25 a 30, parece ser que se consiguió una notable disminución de la luz reflejada.

En la figura 2, donde para mayor sencillez la superficie del cristal se ha representado plana, se ve que estas capas o láminas hacen que, al incidir un haz de luz sobre la lente, se originen dos series de ondas, al reflejarse aquél en las superficies exterior e interior de la lámina, como sucede en las pompas de jabón y manchas de grasa sobre el asfalto, que presentan multitud de vivos colores, originados por la interferencia de

esas dos series de ondas. Pues bien; si el espesor de la capa y el índice de refracción de la sustancia son los adecuados para que el trayecto recorrido por el rayo luminoso en el interior de la capa sea un número impar de semilongitudes de onda, se puede conseguir que en un punto P coincidan dos ondas en oposición de fase, anulándose, por tanto, el rayo reflejado. Esto es lo que se ha intentado mostrar en la figura 2, recordando que se produce un avance de fase igual a media longitud de onda, por la reflexión de un rayo de un medio menos refringente sobre otro más refringente.

Para un espesor dado se anula un solo color; así, que si la pompa de jabón fuese de espesor uniforme, de forma que se anulase el amarillo, por ejemplo, y la pompa la viéramos a una luz no monocromática, como la del día, aparecería de color azul púrpura, que es el complementario del amarillo; es decir, que si sustraemos de la luz solar el amarillo, el color resultante será azul púrpura.

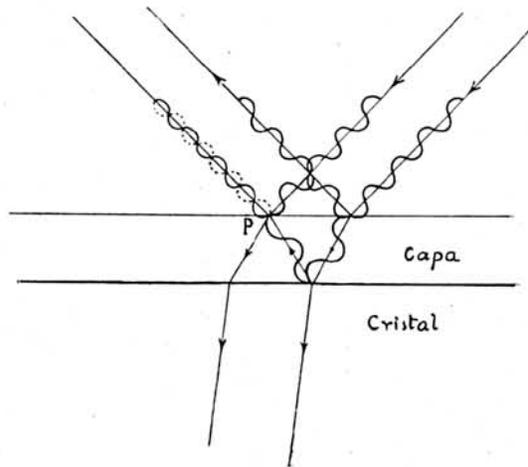


Figura 2.

Como el amarillo está en el centro del espectro y el azul es un color de onda corta, y, por tanto, de los que más se difunden en la atmósfera, se procura generalmente eliminar los reflejos del amarillo para que todos estos rayos lleguen a la emulsión sensible, si se trata de objetivos fotográficos, o al ojo, si de telémetros, prismáticos, visores, etc. Por los motivos expuestos, las lentes recubiertas con capa antirreflejante presentan una ligera coloración azul púrpura, que no influye para nada sobre el color de las imágenes, es decir, que se pueden hacer

con estos objetivos fotografías en color, dando mucho mejor resultado que los *blancos*.

Si hubiera que recubrir un objetivo de capa antirreflejante para ser empleado, no con material pancromático, que es el más frecuente, sino con emulsiones sensibilizadas para el infrarrojo, convendría que todos los rayos rojos e infrarrojos atravesaran el objetivo; por tanto, los reflejos de estos rayos son los que no interesaría eliminar, para que todos actuaran sobre la emulsión; en este caso, el objetivo tendría una coloración azul-verde, que es el complementario del rojo.

También se han hecho pruebas de dar a la capa de cada lente un espesor tal que anule los reflejos de un color, con lo que en el objetivo se habrán suprimido parcialmente los reflejos de todos los colores; pero parece ser que este tratamiento, además de ser más complicado, no tiene ventajas sobre el anterior.

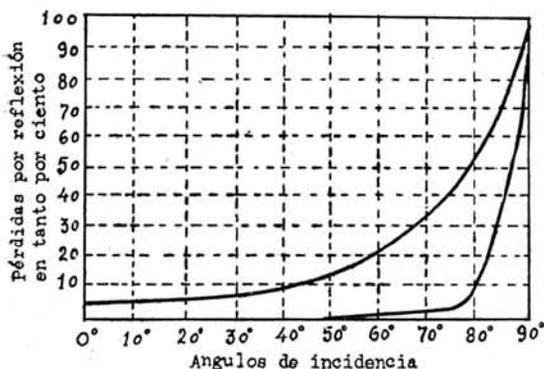
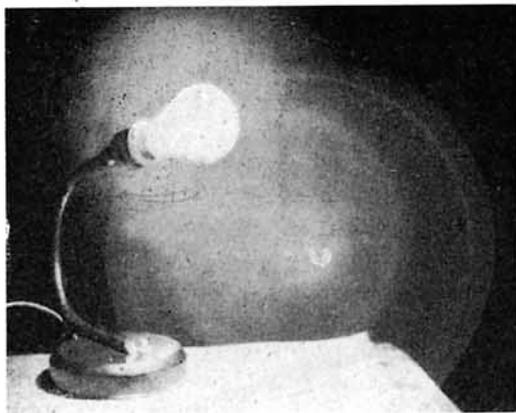


Figura 3.—Muestra el tanto por ciento de luz que se pierde por reflexión según el ángulo de incidencia. La curva superior corresponde a un vidrio corriente; la inferior, a un vidrio recubierto con capa antirreflejante.

Conocida la teoría, las casas importantes de óptica: Zeiss y Leitz, en Europa; Kodak y Bausch, en América, y otras, se dedicaron a mejorar la técnica de los tratamientos antirreflejantes, logrando un gran avance entre los años 1936 y 1941.

Puede conseguirse que se forme la capa antirreflejante por medios físicos o químicos; los mejores resultados se han obtenido por los procedimientos físicos, y parece ser que consisten éstos en exponer las lentes en el vacío a los vapores de una sal de flúor: fluoruro de magnesio; regulando la temperatura y el tiempo se consigue que se forme



Con objetivo anastigmático 1 : 2, diafragma 1 : 2,8.

la capa antirreflejante. Como hemos dicho, la capa es muy delgada, y, por tanto, difícil de medir; pero puede saberse cuándo se ha formado ésta, por la coloración azul púrpura que por reflexión se observa en las lentes.

En las lentes *blancas*, la reflexión aumenta al aumentar el ángulo de incidencia; de aquí otra gran ventaja de la óptica "T" para los objetivos granangulares, pues, como puede verse en el gráfico de la figura 3, hasta un ángulo de 70 u 80°, la reflexión es muy pequeña; por tanto, cuando se hagan fotografías con granangulares recubiertos, no existirá tanta diferencia de iluminación entre las partes centrales del negativo y los bordes. Este defecto se nota mucho en los mosaicos y fotoplanos hechos con granangulares, teniendo



Con objetivo anastigmático T 1 : 1,5, diafragma 1 : 2,8.

do que recurrir muchas veces, si se quieren igualar las intensidades de las positivas, a colorear con rojo los bordes de los negativos.

En las lentes recubiertas con capa «T», en vez de perderse del 5 al 8 por 100, por cada superficie aire-vidrio, la pérdida se reduce a un 0,2 ó 0,5 por 100; por tanto, la luz transmitida por un objetivo recubierto, en vez de ser de un 60 a 70 por 100, que es lo que se consigue con uno *blanco*, puede llegar a un 90 y hasta 95 por 100.

Basta lo expuesto para ver la ventaja que la óptica «T» tiene para todos los aparatos ópticos usados en Aviación, sobre todo para objetivos: prismáticos, colimadores, visores,

etcétera, empleados en misiones de vuelo de noche.

En España se trabaja en varios Institutos y Laboratorios en la elaboración de capas antirreflejantes, habiéndose obtenido resultados muy satisfactorios.

Las fotografías reproducidas se hicieron: una, con objetivo *blanco*, y la otra, con objetivo recubierto. Se tomaron varias fotografías con cada objetivo, y teniendo en cuenta las pérdidas de detalles debidas a la impresión fotomecánica, se eligió el mejor negativo de los obtenidos con el objetivo «T», de las fotografías hechas con el objetivo *blanco* se tomó la que tenía más marcados los reflejos.

El abastecimiento de combustible en el aire

La notable hazaña llevada a cabo por un B-50 dando la vuelta al mundo sin escalas en un vuelo de 37.000 kilómetros, ha sido posible merced a un procedimiento para repostar de combustible en el aire, que fué ideado por Sir Alan Cobham y perfeccionado en la Gran Bretaña en el transcurso de los últimos quince años, gracias al concurso de los técnicos de la Compañía "Flight Refuelling, Ltd.", a cuyo frente figura el citado Sir Alan.

El sistema ha sido ensayado en toda clase de condiciones, tanto de día como de noche, y ha hecho posible la realización de vuelos a gran distancia en que, por razones geográficas o de otra índole, no se puede o no conviene efectuar escalas. La carga útil del avión puede ser duplicada y aun triplicada, mejorándose, además, sus cualidades y aumentando su seguridad, al mismo tiempo que, desde el punto de vista militar, ofrece muy amplias posibilidades.

La viabilidad del método empleado quedó demostrada antes de la última guerra, y, una vez concluida, se han intensificado las pruebas con aviones de línea en las rutas del Norte y del Sur del Atlántico. El grado de seguridad alcanzado ha sido muy alto, y tan sólo en tres ocasiones no se completaron las operaciones de suministro. En una de ellas, a causa del retraso sufrido por el avión que había de ser abastecido, el cual, por la falta de luz, rehusó el suministro. En las otras dos, por dificultades téc-

nicas, que no es de esperar se repitan en un servicio regular de abastecimiento en vuelo que utilice aviones tanque, especialmente proyectados, en lugar de bombarderos adaptados.

El procedimiento seguido para repostar en vuelo es sumamente seguro, y el establecimiento de contacto, paso del combustible y separación de los aviones, puede verificarse en quince o veinte minutos, tiempo en que el aparato nodriza puede suministrar más de 9.000 litros.

El avión que ha de recibir el combustible cuenta con un equipo que ocupa un espacio muy reducido y cuyo peso es de unos 135 kilogramos. Se compone de un enchufe, situado en la cola, al que ha de acoplarse la manga lanzada desde el tanque, una tubería que conduce el combustible a los depósitos y un cabo de remolque, provisto a su extremo de una especie de gancho, que se utiliza para recoger la citada manga. Para la recogida de este cabo se dispone de un pequeño torno.

El avión tanque se sitúa a la derecha del receptor, a una altura un poco menor y más atrás, y con ayuda de un cañón lanzacabos lanza un proyectil, que lleva unido el correspondiente cabo, en la dirección del que previamente ha dejado colgar el avión receptor. Como es natural, el proyectil (una especie de arpón) no es preciso dispararlo hacia el cabo arrastrado por el avión receptor; basta con hacerlo por delante de él, de forma que, al perder velocidad por la