

Análisis de las imágenes obtenidas en la Gruta de los Astrónomos de Xochicalco

Reporte Técnico

Sergio Vázquez y Montiel

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Tonantzintla Puebla, México

svazquez@inaoep.mx

July 2003

INDICE

Antecedentes	3
Reflexión de la luz en una interfase óptica	4
Recubrimientos anti-reflectores	8
Condiciones ambientales de la gruta de los astrónomos	9
Conclusiones.....	10

Antecedentes

En el mes de junio del 2002, Ernesto Ríos, quien es un fotógrafo profesional de la ciudad de Cuernavaca Morelos, tomo una serie de bellas fotografías como la de la fotografía 1 usando una cámara Nikon D1H, con un objetivo AF NIKKOR.



Fotografía 1. Fotografía tomada en la gruta de los astrónomos.

donde además de la imagen del objeto principal, la mano, aparece en la parte superior una imagen invertida en color verdoso de la misma. Dadas las características del lugar donde se tomo esta fotografía es muy importante explicar el origen de esta imagen sobrepuesta, ese es el objetivo de este trabajo.

Reflexión de la luz en una interfase óptica

Una superficie óptica es una interfase que divide dos medios de diferentes índices de refracción, generalmente aire-vidrio. Cuando la luz incide en una superficie óptica una parte se transmite, entre el 91% y el 96%, y el resto se refleja. En la figura 1 se ilustra como un haz de luz se transmite y al mismo tiempo se refleja en la segunda superficie de una lente.

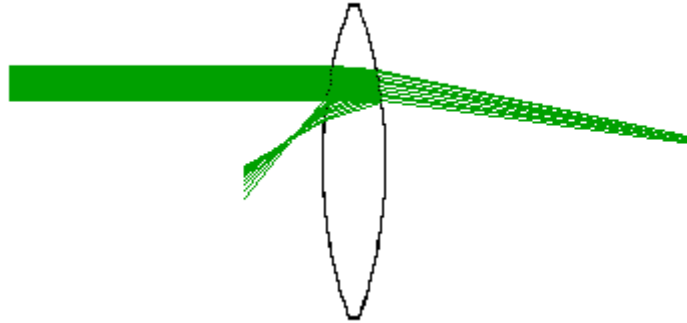


Figura 1. reflexión y transmisión en una superficie óptica.

En sistemas ópticos complejos, como los objetivos de cámaras fotográficas, ver figura 2, existen muchas componentes ópticas y por lo tanto las pérdidas de energía debido a las reflexiones son considerables. Por ejemplo, en un sistema con seis lentes espaciadas por aire las pérdidas serán alrededor del 50% esto se traduce en una pérdida de contraste y de resolución.

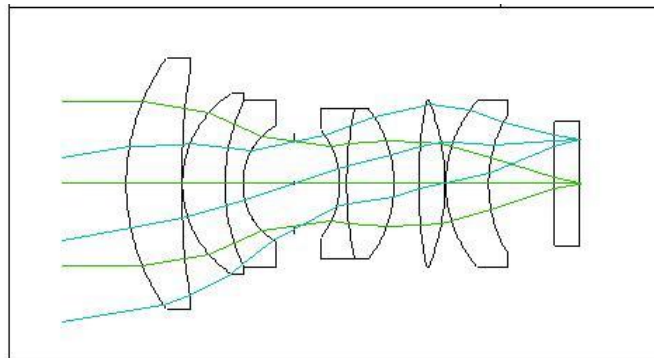


Figura 2. Objetivo de cámara fotográfica con rayos desde dos campos.

Otro fenómeno ocasionado por las reflexiones en las superficies ópticas es la creación de imágenes llamadas *imágenes fantasma*. El nombre de estas imágenes se debe a que se superponen a la imagen primaria o principal pero no la obstruyen y parecen flotar entre los detalles de la imagen.

Para que exista una imagen fantasma la luz debe reflejarse un numero par de veces, hay imágenes fantasmas de dos reflexiones, cuatro reflexiones, etc. En la figura 3 se muestran las trayectorias de los rayos que forman imágenes fantasmas en un sistema óptico.

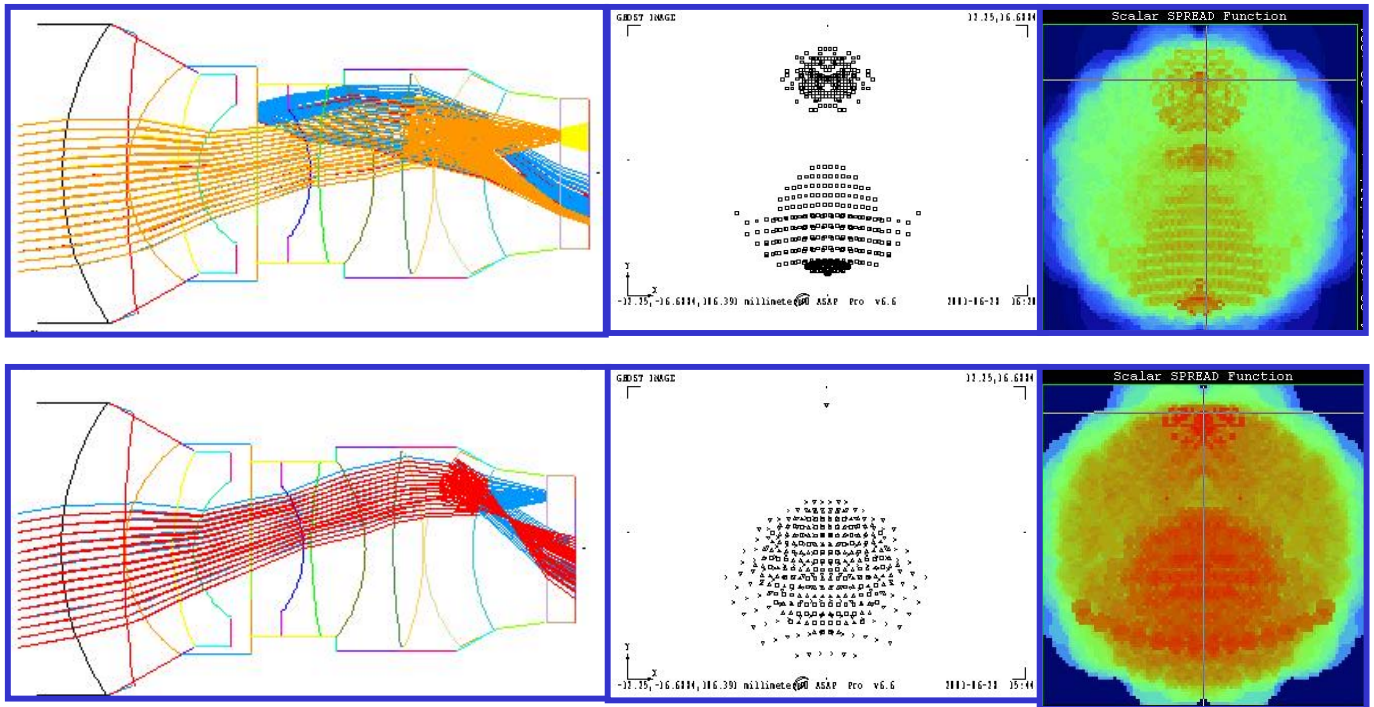


Figura 3. trayectorias de rayos luminosos, diagramas de manchas y distribución de energía de imágenes fantasmas.

Los cuadros de la izquierda en la figura 3 muestran el mismo objetivo de cámara de la figura 2 con rayos luminosos que se reflejan dos veces y que forman imágenes fantasmas, los cuadros intermedios se conocen como diagramas de manchas e indican la intersección de los rayos con el plano imagen, en ellos se puede observar claramente las imágenes fantasmas, los cuadros de la derecha indican la distribución de la energía en el plano imagen.

El sol causa imágenes fantasmas en una fotografía si está en o cerca del campo de visión que se quiere fotografiar. Los faros de los automóviles y las luces de la calle causan imágenes fantasmas en fotografías nocturnas. Si la fuente brillante es pequeña cada fantasma tiene la forma del diafragma de apertura del sistema óptico y las imágenes aparecen como halos o manchas, ver figura 4. Si el fantasma esta enfocado sobre el plano imagen, entonces, la imagen fantasma es similar a la fuente, ver figuras 5 y 6.



Figura 4. Imágenes fantasmas de 2 y 4 reflexiones, son una imagen del diafragma de abertura tomadas con una cámara de video JVC modelo DVL310

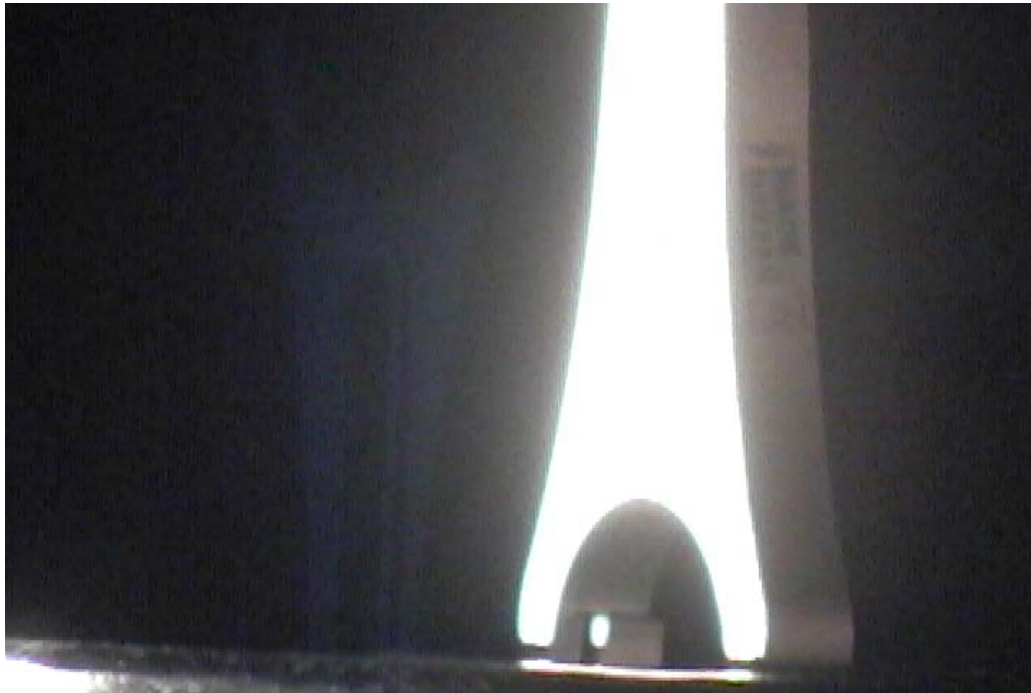


Figura 5 imagen fantasma similar al objeto tomada con una cámara de video JVC modelo DVL310

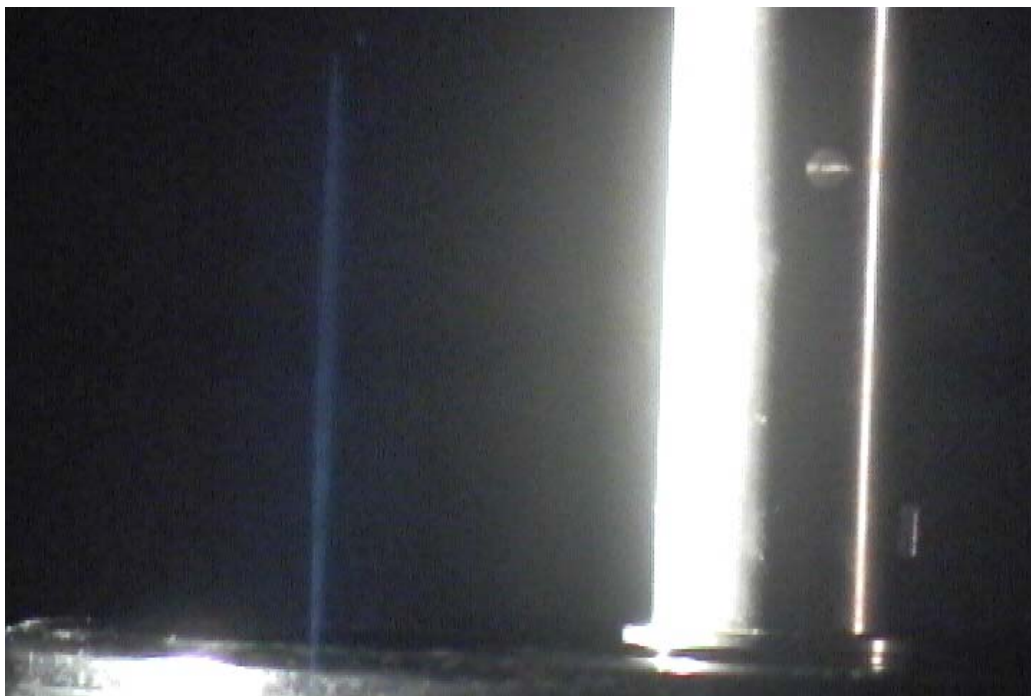


figura 6. Imagen fantasma de la línea brillante de la derecha tomada con una cámara de video JVC modelo DVL310

Recubrimientos anti-reflectores

Para reducir las pérdidas de luz y para disminuir el efecto de las imágenes fantasmas, las superficies de las lentes son recubiertas con películas de materiales dieléctricos, este tipo de recubrimientos se conocen como *recubrimientos anti-reflectores*.

La idea que se encuentra detrás de los recubrimientos anti-reflectores es la creación de una doble interfase por medio de una película muy delgada que genere dos ondas reflejadas que estén fuera de fase para que se cancelen total o parcialmente. Si la película tiene un espesor igual a un cuarto de la longitud de onda de la luz (aproximadamente 137 nm para el color verde) y un índice de refracción menor al del vidrio de la lente, entonces las dos reflexiones estarán 180° fuera de fase y se cancelarán totalmente pero sólo para esa longitud de onda. Un recubrimiento de este tipo es una película de Fluoruro de Magnesio, en la figura 7 se muestra la variación de la reflectancia contra la longitud de onda para el rango visible, la línea verde corresponde al vidrio sin recubrir y la línea negra al vidrio con recubrimiento.

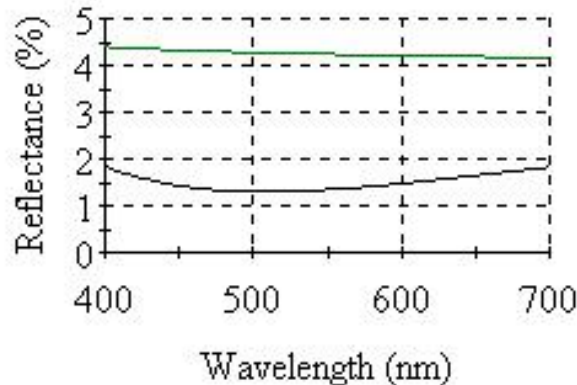


Figura 7. Variación de la reflectancia contra la longitud de onda.

Sin embargo, los mejores recubrimientos anti-reflectores tienen varias películas de distintos materiales dieléctricos, estos son conocidos como recubrimientos anti-reflectores de banda ancha. La curva de reflectancia de este tipo de recubrimiento se muestra en la figura 8. Observese que en este caso la reflectancia máxima es del orden del 1% lo que significa que la transmitancia es del 99% o mayor, con lo cual las imágenes fantasmas prácticamente desaparecen.

Viendo la figura 8, notamos que la reflectancia es mayor en los extremos del espectro visible, por tanto, casi toda la luz reflejada corresponde al rojo y al azul, esto explica el tinte púrpura de las lentes de las cámaras o de los binoculares, y al mismo tiempo explica el color de las imágenes fantasmas formadas por dos o más reflexiones.

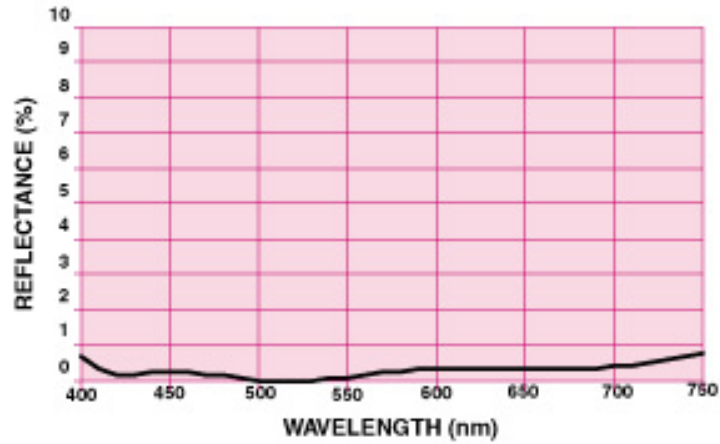


Figura 8. Reflectancia de un recubrimiento anti-reflector de banda ancha

Condiciones ambientales de la gruta de los astrónomos

En la figura 9 se muestra un corte transversal de la gruta, como se observa existe una chimenea por donde pasa la luz solar formando un cilindro con una haz con alta energía luminosa, ver figura 10. Es precisamente en este cilindro luminoso donde se colocaron los objetos que se deseaban fotografiar.

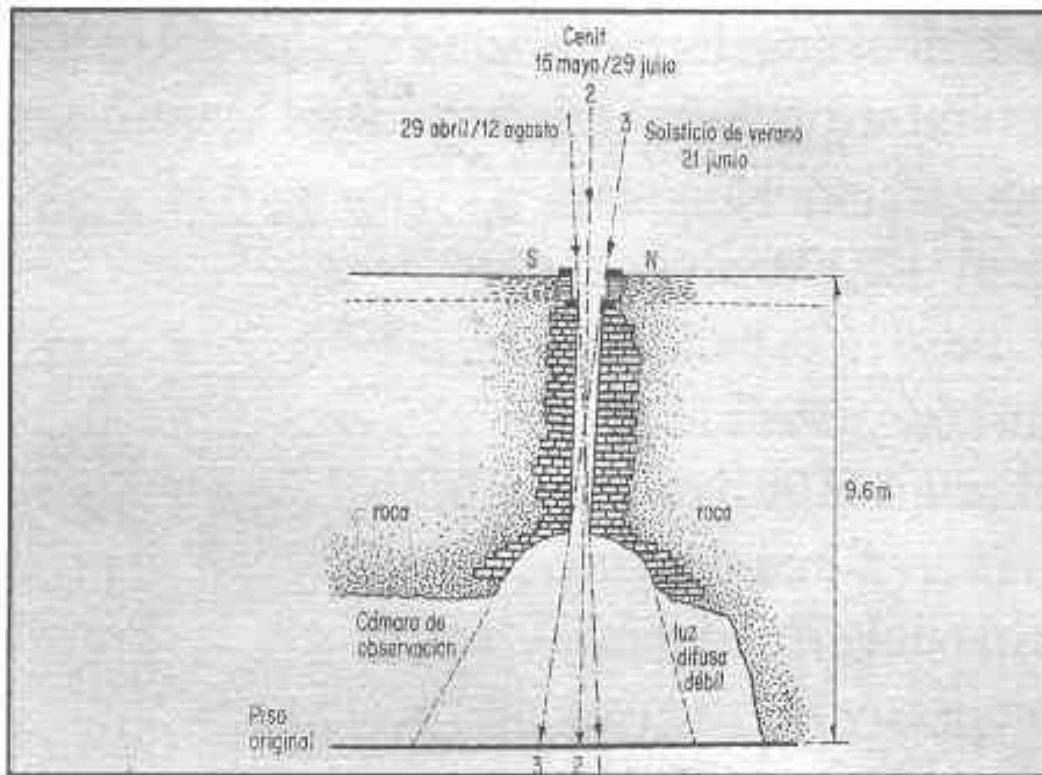


Figura 9. Corte transversal de la gruta de los astrónomos.



Figura 10. interior de la gruta de los astrónomos mostrando el cilindro luminoso de alta energía.

Conclusiones

A pesar de que el objetivo de la cámara NIKON utilizada para tomar las fotografías tiene un excelente recubrimiento anti-reflector de banda ancha, que en principio debería eliminar las imágenes fantasmas, las condiciones ambientales con objetos iluminados intensamente sobre un fondo oscuro produce dobles reflexiones internas con suficiente energía para ser captadas por el arreglo de CCDs de la cámara. Esto permitió obtener las imágenes fantasmas tan nítidas que se observan en las fotografías, la coloración de las imágenes corresponde a la longitud de onda con mayor reflectancia en el objetivo de la cámara.