

OBSERVACIÓN AEROSTÁTICA
DE LAS
SOMBRAS VOLANTES EN EL ECLIPSE DE SOL
DEL 30 DE AGOSTO DE 1905
POR
D. EMILIO HERRERA Y LINARES

CAPITÁN DE INGENIEROS
(Sesión del 22 de Junio de 1911.)

El interesante fenómeno de las sombras volantes ú oscilantes que, por la dificultad de encontrar una teoría que las explique satisfactoriamente, ha sido y es objeto de detenidos estudios en todos los eclipses totales de Sol, fué también uno de los objetivos principales en las observaciones que llevó á cabo en Burgos el Servicio de Aerostación, por iniciativa de su primer jefe el coronel de Ingenieros D. Pedro Vives y Vich, en el mes de Agosto de 1905.

De las distintas observaciones de este fenómeno efectuadas en tierra, se han deducido las consecuencias siguientes:

I. La producción de las sombras volantes ocurre simultáneamente en una zona anular de terreno que rodea á la elipse de sombra lunar la cual queda comprendida dentro del límite interior de aquélla y algo separada de él.

II. El fenómeno se presenta en forma de trozos de bandas de sombra aproximadamente rectilíneas y paralelas, separadas por espacios más claros. La distancia entre cada dos bandas suele estar comprendida entre 10 y 20 cm.

III. Las bandas son más anchas, distanciadas y confusas cuanto más lejos están del límite interior del anillo en que se producen, llegando en las inmediaciones del exterior á reducirse á un centelleo sin forma determinada.

IV. La dirección de estas bandas es aproximadamente paralela á la elipse de sombra lunar.

V. Estas bandas tienen un movimiento de traslación independiente del de la sombra lunar sobre la superficie terrestre. En la mayoría de los casos este movimiento es análogo al del viento, aunque algunas veces se ha observado en sentido contrario y otras se han notado varias series de bandas moviéndose en distintos sentidos.

VI. El fenómeno aparece y desaparece sucesivamente, siendo la frecuencia de estas desapariciones mayor cuanto más próximas al límite interior se encuentren las sombras.

Para la explicación de este fenómeno se han propuesto varias teorías, que se pueden clasificar en dos grupos, según que lo consideren de origen astronómico ó de origen meteorológico.

Como fenómeno astronómico se ha tratado de explicar por la difracción de la luz solar en el borde aparente de la Luna, por la interferencia de los rayos procedentes directamente del Sol con los reflejados por la superficie lunar y, por último, por la dispersión de la luz solar en una supuesta atmósfera lunar.

Estas teorías explicarían satisfactoriamente las I, II y IV consecuencias; pero las bandas de sombra producidas, ya fueran franjas de difracción, de interferencia ó rayas de absorción, seguirían á la sombra lunar en su movimiento y, por lo tanto, sería imposible notar su presencia por la vertiginosa velocidad de que estarían animadas. Además, las franjas de difracción ó las de interferencia producidas como se ha dicho, serían más anchas en la parte más próxima á la elipse de sombra, en contra de lo observado según la consecuencia III, y si fuesen rayas de absorción tendrían que ir acompañadas del cambio de color correspondiente á una dispersión de la luz solar capaz de producirlas.

Como fenómeno meteorológico se han considerado originadas por la desigual refracción de los rayos solares al atravesar estrías atmosféricas de distinto poder refringente, lo que hace que en unas líneas del terreno paralelas á estas estrías se acumule más luz que sobre otras (teoría de Wood), ó bien por las interferencias de los rayos solares producidas por la desigual desviación que sufren éstos al cruzar capas atmosféricas de distinto índice de refracción (teoría de Arago). Con estas mismas teorías tratan de explicar sus respectivos autores el fenómeno de la escintilación de las estrellas.

De estas dos maneras se explica bien la consecuencia V respecto al movimiento de las sombras volantes, que sería el del viento que arrastre las estrías refringentes, pero ni Wood ha dado una explicación de las demás consecuencias con arreglo á su teoría, ni Arago lo

intenta con la suya, reconociendo la dificultad que esto presenta en su *Notice sur les eclipses*.

En este estado del problema, inútil es decir la importancia que para su resolución presentaría el poder hacer observaciones simultáneas de este fenómeno en tierra y en la atmósfera libre á diferentes alturas, puesto que si las bandas se presentaban aproximadamente iguales á cualquiera altura del punto de observación, podría asegurarse que el origen de ellas era astronómico; si se producían según la teoría de Wood debían aparecer menos marcadas cuanto más altas, por ser menor la desigual repartición de los rayos de luz cuanto menos cantidad de medio refringente tengan que atravesar y, por último, si las bandas fuesen franjas de interferencia de los rayos desviados por el desigual poder refringente de las distintas capas atmosféricas, según la teoría de Arago, deberían aparecer menos confusas cuanto más altas estuvieran, hasta llegar á la altura en que se interfieren los primeros rayos, á partir de la cual no debería producirse el fenómeno.

Con objeto de observar las sombras volantes á distintas alturas de la atmósfera, los tres globos libres del Servicio de Aerostación elevados en Burgos el 30 de Agosto de 1905, en los que por primera vez en el mundo se hizo observación aerostática de un eclipse de sol, iban provistos de una pantalla blanca horizontal suspendida de la barquilla, y para comparar los resultados obtenidos de la observación aerostática con los que se obtuvieran en tierra, otros oficiales estaban encargados de hacer análoga observación en dos puntos distintos de Burgos.

Estos tres globos libres montados fueron: el *Júpiter*, pilotado por el jefe del Servicio, Sr. Vives, acompañado del famoso meteorólogo y aeronauta alemán Berson, cuya ascensión á 10.800 m. de altura le ha dado renombre universal, y del Auditor de división Sr. Romeo, encargados de las observaciones termométricas y espectroscópicas; el *Urano*, pilotado por el capitán Kindelán, acompañado por el entonces Director del Observatorio Meteorológico, Sr. Arcimis, que se dedicaron á la fotografía de la corona solar, y por último, el *Marte*, tripulado por el malogrado aeronauta español, fundador de nuestro Real Aero-Club, Sr. Fernández Duro, acompañado del autor de esta Memoria, encargados del dibujo de la corona y de la observación de las sombras volantes.

Los tripulantes del *Júpiter* se vieron obligados á cortar las cuerdas de suspensión de la pantalla para facilitar el arroje del lastre, por lo cual no hicieron observación de sombras volantes. Tampoco pudieron efectuarla desde el *Urano*, por tener que atender preferentemente á las

manipulaciones necesarias para el manejo de las cámaras fotográficas; únicamente el *Marte* iba dispuesto convenientemente para la observación del fenómeno que nos ocupa, lo que constituía uno de sus cometidos especiales.

Sobre el punto de partida existían á la hora del eclipse dos espesas capas de nubes, de las cuales la superior, formada por cristales de hielo, alcanzaba hasta 3.500 m. de altura. Estas capas de nubes, enfriando el gas de los globos y recargando la envolvente, dificultaban la rápida subida necesaria para atravesarlas antes de la totalidad.

Afortunadamente, después de sacrificar el lastre destinado para la subida y la mayor parte del de reserva para el descenso, sumergidos en las tinieblas por las densas nubes que nos envolvían, conseguimos salir á la superficie superior de ellas pocos segundos antes del comienzo de la totalidad y admirar el indescriptible espectáculo, hasta entonces jamás contemplado por ojos humanos, de un inmenso mar de nubes alumbrado por la macilenta luz de la corona solar, al que limitaba un horizonte brillante donde no alcanzaba la sombra de la Luna, coronado por un cielo violáceo oscuro sin nubes, en el cual refulgían algunas estrellas y la corona solar rodeando el disco negro de la Luna, mientras el *Júpiter* aparecía algunos centenares de metros sobre nosotros, brillando su envolvente de aluminio á la luz de la corona, y el *Urano* quedaba por debajo confundido con las ondulaciones del mar de nubes, por entre algunas de las cuales se podía vislumbrar la superficie terrestre sumida en la obscuridad, en el fondo de un abismo de 3 km. de profundidad.

Los pocos minutos disponibles para hacer el dibujo de la corona no nos permitían poder dedicarnos á admirar tantas maravillas á nuestro gusto, pues la duración de la totalidad nos proporcionó estrictamente el tiempo indispensable para terminar el croquis y repasar rápidamente la forma de las principales expansiones coroneales, al final de cuya operación nos sorprendió el destello anunciador del tercer contacto.

Desde este momento, y mientras la sombra lunar se alejaba vertiginosamente hacia el horizonte por el SE., fijé mi atención en la pantalla blanca, esperando la aparición de las sombras volantes que no habíamos podido observar antes de la totalidad por las razones expuestas.

Creía observar un centelleo sobre dicha pantalla, cuando mi compañero me advirtió que las sombras volantes habían aparecido sobre todos los objetos que nos rodeaban. Efectivamente, la pantalla estaba demasiado lejos para poder distinguir en ella las sombras vo-

lantes, mucho más estrechas de lo que esperábamos, pero sobre los bordes de la barquilla, en las cuerdas, sobre nuestras manos extendidas, aparecían millares de rayas de sombra oscilante, moviéndose lentamente hacia el E., perfectamente definidas y distanciadas á unos 2 cm. escasos.

Estas rayas fueron haciéndose cada vez más confusas, hasta llegar á desaparecer pocos minutos después. El globo se encontraba entonces á 3.800 m. sobre el nivel del mar.

Por lo tanto, á las seis consecuencias deducidas de la observación en tierra de las sombras volantes, podemos agregar la siguiente:

VII. El fenómeno aparece por lo menos hasta alturas próximas á 4.000 m. en la atmósfera libre, siendo las bandas de sombra en estas regiones mucho más marcadas y próximas que en la superficie de la Tierra.

De esto se deduce que se trata de un fenómeno de origen puramente meteorológico, y que probablemente es debido á las interferencias de los rayos solares al ser desigualmente refractados en las capas atmosféricas que tienen que atravesar.

Veamos ahora cómo, basándose en esta teoría, se puede llegar á la completa explicación de este fenómeno.

Supongamos un haz de rayos paralelos, procedentes de un punto luminoso situado en el infinito, que éntre en un medio refringente limitado por una superficie convexa. Al refractarse los rayos, según sus respectivos ángulos con la normal á la superficie del medio refringente en el punto de incidencia, pierden su paralelismo y llegan á cortarse unos á otros más allá del centro de curvatura de la superficie, resultando todos ellos tangentes á una superficie curva de sección longitudinal parecida á una V muy prolongada, que es la cáustica por refracción correspondiente al medio refringente y al punto luminoso considerado.

Dentro del espacio limitado por la cáustica y los rayos refractados tangentes á su borde superior, cada punto estará iluminado por dos rayos, que se interferirán bajo ángulos tanto menores cuanto más próximo á la cáustica esté el punto considerado, produciéndose, por lo tanto, anillos de luz y sombra concéntricos con las secciones transversales de la cáustica, y cuya anchura irá aumentando de dentro á fuera, por ser éstas inversamente proporcionales al ángulo de los rayos interferentes; por lo tanto, si dentro del medio refringente colocamos una pantalla que corte á la cáustica, obtendremos sobre ella un punto luminoso en el de intersección con el eje de la cáustica, rodeado por

anillos alternativamente de luz y sombra y de espesor creciente hasta llegar á la sección de la cáustica, en donde desaparecerán.

Si en vez de un punto el origen luminoso fuese una línea recta de una cierta extensión, los anillos de interferencia correspondientes á cada punto de ella, se superpondrían parcialmente y darían entre todos, como resultante, un haz de rayas de luz y sombra situadas aproximadamente según las intersecciones de la pantalla con planos que pasasen por la línea luminosa. Estas rayas serían más estrechas en el centro del haz que por los bordes, y la anchura mínima de ellas sería tanto menor cuanto más alta estuviera la pantalla y, por lo tanto, más distante del vértice de la cáustica.

Si se tratase de un medio refringente limitado por una superficie ondulada, el fenómeno se repetiría, tal como se ha expuesto; debajo de cada convexidad de ella, y además se producirían interferencias por debajo de las cáusticas, entre los rayos que ya las hubiesen cruzado y los refractados por las partes cóncavas de la superficie, produciéndose también franjas de luz y sombra no sólo dentro de las cáusticas, sino alrededor y por debajo de ellas.

Suponiendo ahora que la línea luminosa tenga un cierto espesor, el fenómeno se complica, pues en vez de obtenerse un haz de franjas, se obtendría un resultado igual á superponer infinitos haces paralelos de franjas de distinta anchura, lo que produciría un haz de franjas menos precisas y mucho más anchas y distanciadas, que en ocasiones se destruirían cuando el espesor de la línea de luz fuese tal, que las interferencias de los rayos procedentes de los bordes de la línea luminosa distasen entre sí una cantidad igual á un múltiplo impar de la semidistancia entre las franjas correspondientes.

Con lo expuesto basta para darse cuenta de lo que debe ocurrir al llegar la luz de la falce solar, que se puede asimilar á una recta luminosa de una cierta anchura, á la superficie terrestre, después de cruzar las capas atmosféricas de distinto índice de refracción, separadas por superficies iso-refringentes de forma ondulada por la acción irregular de las corrientes que las agitan. Veamos cómo pueden así explicarse todas las consecuencias deducidas de las observaciones de las sombras volantes.

I. La formación de las franjas de sombra ocurrirá en todos los sitios iluminados por una falce solar aparente que sea asimilable á una recta luminosa de pequeño espesor y cuya longitud no sea tan pequeña que quede reducida á un punto. Esto sucede precisamente en la zona anular que rodea á una cierta distancia á la elipse de sombra lunar.

II. En las condiciones anteriores y en los sitios situados debajo de la capa atmosférica donde se produzcan las primeras interferencias, aparecerán bandas de sombra de una cierta anchura, según el ángulo de interferencia de los rayos refractados y el espesor aparente de la falce solar, pudiendo producirse en las capas bajas varias series de franjas superpuestas correspondientes á varios rayos refractados bajo distintos ángulos, que producirían otras franjas más espaciadas y confusas, con soluciones de continuidad correspondientes á las partes cóncavas de las superficies iso-refringentes ó á los puntos donde se destruyesen los efectos combinados de las múltiples interferencias.

III. Como se ha visto antes, estas franjas deben ser tanto más anchas, confusas y distanciadas cuanto mayor sea el espesor de la falce luminosa, ó sea en la parte más exterior de la zona anular donde se producen.

IV. Estas franjas están situadas en planos que pasan por la línea luminosa; por lo tanto, son aproximadamente paralelas á la elipse de sombra.

V. Deben seguir el movimiento de las ondulaciones producido por el viento, y cuando sean resultantes de varias interferencias, podrán seguir distintas direcciones ó tener movimientos aparentes contrarios.

VI. Las bandas deben desaparecer cada vez que el espesor de la falce luminosa sea el conveniente para que las interferencias se neutralicen, lo que sucederá con tanta mayor frecuencia cuanto más próximas estén las franjas elementales, ó sea en las proximidades de la elipse de sombra.

VII. Cuanto más próximo al límite superior de las cáusticas esté el punto de observación, las franjas aparecerán más precisas y más juntas, por estar producidas por interferencias simples de dos rayos únicamente, que generalmente se interferirán con el mayor ángulo posible.

Dado el débil índice de refracción del aire, la altura á que fueron observadas estas franjas á bordo del *Marte*, probablemente estaría muy próxima al límite superior de la región en que son observables, que no excederá mucho de los 4.000 m. (si la hipótesis explicada es cierta, como creemos), lo que se podría comprobar con nuevas observaciones aerostáticas que, á nuestro juicio, son las únicas que pueden llegar á dar el fallo definitivo sobre la verdadera teoría de la formación de las sombras volantes.
