

En seguimiento del Sol: el rayo verde

Por el General del Arma de Aviación JOSE M.^a AYMAT

La acogida que entre alguno de nuestros lectores tuvo la fortuna de obtener nuestro artículo sobre "El crepúsculo en el aire" (1), nos ha animado a insistir sobre un asunto que si puede no tener más trascendencia utilitaria que una problemática de orden meteorológico, da, desde luego, ocasión a un singular placer de tantos como nos ofrece la contemplación de la Naturaleza, y que, siendo tan raro como fugaz, el avión nos proporciona un medio de asirlo para, cuando se dé, prolongarlo o reproducirlo repetidamente a nuestro antojo durante algún mi-

nuto, y a que no ya paremos el Sol, sino que hasta, después de puesto, le obliguemos a retroceder para mostrársenos de nuevo. Nos referimos al rayo verde.

Hay que verlo.

Y quien lo ha visto reconocerá que no hay hipérbole en esa descripción. Sólo encontramos un remoto remedo de ese fulgor en los destellos de los prismas de puro cristal de roca de las arañas antiguas, o en el fugacísimo brillar de un buen diamante en el fondo oscuro y misterioso palco.

Por desgracia, es poco frecuente la concurrencia de las circunstancias en que el fenóme-

(1) REVISTA DE AERONAUTICA, núm. 82, septiembre 1947, pág. 39.

no se produce, y, salvo los que saborearon su encanto, pocos tratan de verlo. En el paseo del rompeolas de Bayona de Galicia lo vimos por primera vez, y desde entonces no perdimos ocasión de repetir la observación, felicísima en muchos casos, lo mismo en horizonte mar que en tierra: sencillo unas veces, desde el Generalife de Granada (14 abril 1945); dobles otras, sobre el dentellado de Sierra de Avila (9 agosto 1945), desde la Virgen de Sonsoles, o en el doble escalón de los edificios de la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos (22 diciembre 1946), desde la plaza de la Armería.

Es un recreo leer las observaciones, lo mismo al orto que al ocaso, sobre horizonte mar, de montañas y hasta de nubes, múltiple, o sencillo, de Venus, de la Luna, hasta sucesivamente de sus dos cuernos, en los artículos de nuestro amigo el Capitán Francisco Serra, de nuestra Marina Mercante (2).

Son también notables, guardando la inmensa distancia que en eso del rayo verde, sobre todo, va de lo vivo a lo pintado, las fotografías en colores que el astrónomo de Douville, Mr. Rudaux, publicó en *L'Illustration* francesa el 27 de agosto de 1927 (núm. 4.408, pág. 183).

Más notable es aún la descripción (3) que de una observación suya hace el Almirante Gago Coutinho (el glorioso aviador portugués que con Sacadura Cabral hizo la primera y heroica travesía transatlántica de Levante para Poniente, con un pequeño hidro, de Lisboa a Río de Janeiro), en que logró hacer permanente el tan inaprensible rayo, y que ha sido la inspiradora de este artículo.

En trabajos geodésicos por las costas de Mozambique observaba a 50 kilómetros el heliostato (espejo que refleja la luz solar, y que gira mecánicamente como un ecuatorial astronómica para mandar el rayo solar reflejado en una dirección constante), situado en la isla de Bazaruto, cuyos rayos rozaban casi la superficie del mar, y ello fué causa de que se le ocurriera descender, al objeto de comprobar hasta dónde podían ser observadas las señales de referencia. No tardó en dar con el lugar preciso, en que la luz desaparecía bajo el horizonte. En el instante de la ocurrencia vió, con manifiesta estupe-

facción, que se tornaba verde el color, exactamente igual que el fenómeno que tanto le era conocido, en observación directa, en las inmensas superficies oceánicas. La visión era tan real, clara y permanente, en un espacio aproximado de 20 centímetros de altura, que, agachándose y levantándose el observador, concretaba indistinta y sucesivamente la luz amarilla del heliostato, la verde en cuestión y la desaparición total de la luz.

Entusiasmado con tal contemplación, inédita hasta entonces, resolvió averiguar qué fuera lo que pudiera ocurrir con las mismas señales cambiadas durante la noche por medio de reflectores Mangin de acetileno.

El Almirante hace constar que se produjo idéntico fenómeno en el instante en que la señal luminosa de Bazaruto se hallaba próxima a desaparecer. Dicha señal se tornaba verde, con el mismo tinte que durante el día, a pesar de que la luz del reflector era más anaranjada que la del heliostato.

Hay, sin embargo, en este modo de observar el rayo verde inconvenientes, cuales son: cortadía de la distancia en la que la refracción terrestre pueda, en rayo casi horizontal, descomponer la luz, y necesidad de que con el Sol bajo pueda haberse descompuesto en su recorrido desde los espacios interplanetarios al espejo, lo que la experiencia nos demuestra requiere un cúmulo de circunstancias que hacen al fenómeno muy poco frecuente; intervención del espejo, en cuyas superficies y espesor puede falsearse la pureza del color, o la intervención de luz de naturaleza artificial, que podrá imitar, pero que no es propiamente la del astro rey, y que sólo cuenta para descomponerse con el refringente del aire en un relativamente corto recorrido.

Si gracias a la movilidad de nuestro avión pudiéramos mantenernos sobre el último rayo solar tangente a la tierra, obtendríamos, sin necesidad de espejos, la observación continua del ocaso, con la del rayo verde si éste llegara a producirse por las necesarias circunstancias atmosféricas, pero esto requeriría una velocidad hacia Poniente de la vuelta al mundo en veinticuatro horas, o sea, de 1.667 kms/h. en el Ecuador, y aun en latitud de 60°, la muy grande de 833. Pero lo mismo lograremos si ascendemos a un compás tal que la depresión de nuestro horizonte crezca del mismo modo que desciende el Sol por debajo de él; y eso, en altitudes no excesivas, como además conviene para que la línea de

(2) "Contribución al estudio del rayo verde", *Revista General de Marina*, septiembre 1944, y "Observaciones del rayo verde", ídem íd., agosto 1945.

(3) "The artificial Green Flashed. The Observatory London", vol. XLII, 1919, pág. 80.

horizonte aparezca bien definida, es muy asequible a la técnica actual.

El descenso del Sol viene definido por la duración del crepúsculo, que el civil, en nuestras latitudes, viene a ser de la media hora, para pasar del ocaso (depresión + semidiámetro - 50') a la de 6°, que define su fin, o sea, a velocidad de

$$\frac{310'}{1.800} = 0,17 \text{ por segundo.}$$

La depresión del horizonte a 1.600 pies es, en minutos, su raíz cuadrada, ó 40'. Para alcanzar 40'17 precisa subir, en pies, a su cuadrado = 1.614, con subida de 14 pies = 4,2 metros por segundo, o sea, 1.000 metros en cuatro minutos, bien asequible a cualquier avión.

pero la variación de altura dA a la velocidad vertical

$$V_z = \frac{dA}{dt}$$

es $dA = V_z dt$; de donde

$$\frac{dd}{dA} = \frac{dd}{V_z dt} = \frac{0,887}{V_z}$$

que debe ser igual al descenso del Sol

$$\frac{dd}{dt} = \frac{5,17}{Cr}$$

igualando ambas expresiones se deduce la velocidad vertical V_z , necesaria para seguir al Sol

$$V_z = 5,83 \frac{\sqrt{A}}{Cr}$$

Como la variable inseguridad de la refrac-

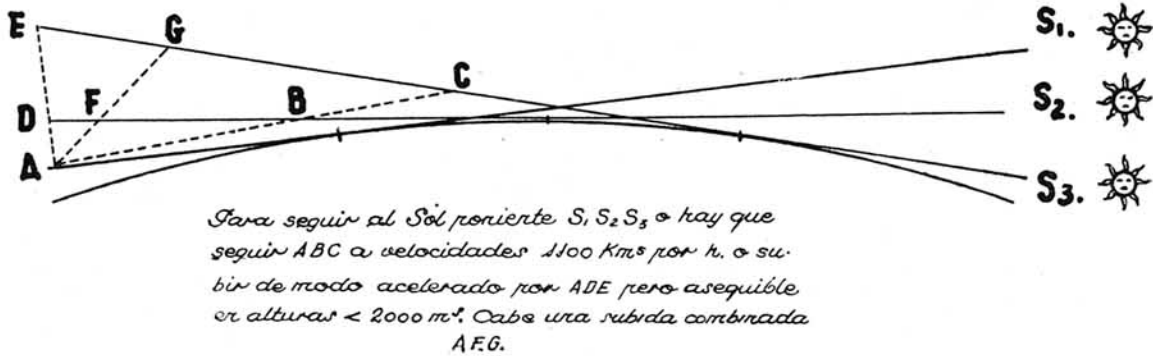


Fig. 1

Calculémosla para cualquier lugar, momento y altura. Si llamamos Cr a los minutos de crepúsculo civil que se encuentra en los calendarios (en el gráfico de la pág. 44 de nuestro artículo antes citado), y que en valores discretamente repartidos damos a lo largo de la escala del monograma que acompañamos, el descenso del Sol viene dado, en minutos de ángulo por segundo de tiempo, por la expresión

$$V_d = \frac{dd}{dt} = \frac{310'}{Cr \cdot 60} = \frac{5,17}{Cr}$$

La depresión de horizonte a la altura A , expresada en ms., es en minutos angulares

$$d = 1,775 \sqrt{A},$$

que varía con la altura en la proporción

$$\frac{dd}{dA} = 1,775 \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{A}} = \frac{0,887}{\sqrt{A}}$$

ción (4) hace sólo aproximada esta expresión prácticamente,

$$V_z = 6 \frac{\sqrt{A}}{Cr}$$

Sobre la primera fórmula hemos trazado el gráfico de puntos alineados, que nos da una idea de la velocidad de subida, que en la realidad práctica debe regularse con la manecilla de gases, a la vista del propio Sol, que es el verdadero regulador de ella, pues el gráfico sólo sirve para dar idea de las posibilidades.

Vemos que a pequeñas alturas las velocidades son muy bajas, si bien crecen fuertemente a medida que subimos, conduciéndonos a mayor di-

(4) Puede verse nuestro artículo "La distancia al horizonte, función del gradiente termométrico.—Contribución al estudio de la refracción terrestre en la mar". *Revista General de Marina*, noviembre-diciembre 1943.

facultad de alcanzar el Sol, al principio jugando con él, en perderlo y alcanzarlo de nuevo, hasta que al fin perdemos la posibilidad de verlo hasta el día siguiente, tras un ¡Adiós! que habremos de darle cuando a la máxima velocidad ascendente y rumbo a él se nos ponga definitivamente.

La modesta velocidad necesaria a alturas cortas explica la observación frecuente en los marinos de haber visto mejor el rayo verde cuando fuertes balances del barco les pilla en fase ascendente, pues la altura de 6 a 8 metros del puente de un barco requiere no más del medio metro por segundo.

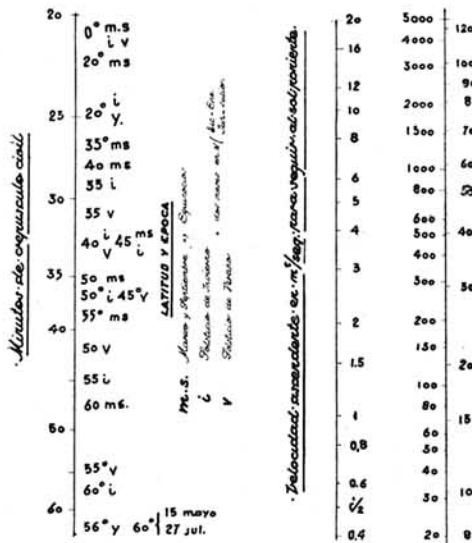


Fig. 2

Deducimos de ello que otro modo de observar es en automóvil, subiendo pendiente fuerte de carretera, ya que en cuestas, del 10 por 100, no es posible alcanzar velocidades de 50 kilómetros por hora, próximas al metro y medio de altura por segundo, reproduciendo la observación de mister W. Groube al recorrer la ruta Tazza-Fez (5). Sobre una línea de colinas observaba a

(5) Ibérica, junio de 1934.

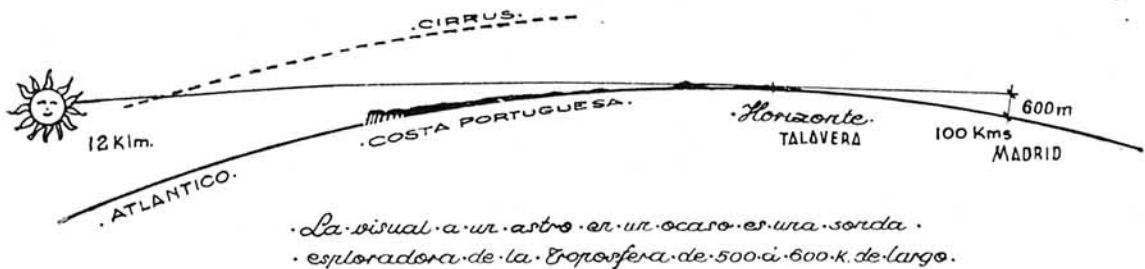


Fig. 3

Venus, que brillaba magistralmente y parecía correr por encima de la cresta de las colinas que se destacaban en negro con gran nitidez sobre la pureza del cielo. En un momento dado el astro perdió su brillo, volviéndose amarillo, luego anaranjado, y, finalmente, de un hermoso verde esmeralda, para desaparecer un instante después detrás de una colina más elevada que las otras.

Algunos minutos más tarde, cuando el carruaje hubo rebasado el montículo, Venus reapareció pasando por los mismos colores, si bien en sentido inverso: verde, al aparecer; anaranjado luego, y finalmente, blanco.

Al ponerse el planeta tras el horizonte, se volvió de nuevo anaranjado y verde.

Estas condiciones se ven favorecidas si la silueta del horizonte en que se pone el Sol son la vertiente de una montaña inclinada, descendiendo hacia el Norte, y corremos en nuestro coche subiendo en esa dirección Norte.

Es de advertir que el deslumbramiento del conjunto del disco solar puede dificultar la observación. Para evitarlo aconsejamos mirar al Sol cuando esté muy bajo y a través de un agujerito de alfiler en una tarjeta. Si reduce el campo visual, siempre se ve sobradamente el disco completo, para seguir fácilmente su progresiva ocultación tras el horizonte, y sólo al final, después de haber cerrado unos momentos los ojos, se le mira directamente cuando sólo queda una pequeñísima parte del disco.

También puede obtenerse el diafragma de observación cogiéndose el pulgar con el índice.

No es sólo un agradable placer lo que proporciona la observación del rayo verde, pues de la explicación del fenómeno viene a deducirse su trascendente utilidad.

Dice el Capitán Serra en su trabajo antes citado: "Una puesta de Sol con rayo verde, salvo muy raros y esporádicos casos, me ha dado siempre la garantía de la invariabilidad del tiempo

reinante en un plazo de 24 h. ..., aun considerado el desplazamiento del barco en orden de los 600 kilómetros."

Y no debe sorprendernos esta permanencia, pues la observación del ocaso, tanto solar como de cualquier astro, viene a hacerse a lo largo del recorrido de la luz en distancia que para alcanzar sólo los 10 ó 12 kilómetros de atmósfera por debajo de la estratosfera, donde la presión es aún de un cuarto y se verifican los cambios meteorológicos, alcanza de 400 a 500 kilómetros, a los que en cuanto subamos 600 metros hay que añadir otro centenar por distancia al horizonte propio, y en tan largo recorrido la exploración ha de ser de gran valor.

El meteorólogo señor Pita nos dice: "El fenómeno del rayo verde parece exigir una atmósfera muy pura, privada de las partículas que lleva en suspensión el aire cálido que actúan sobre la luz, difundiéndola, reflejándola y absorbiéndola. Por tanto, las mejores condiciones de producción tendrán lugar inmediatamente después del paso de un frente frío, cuando se anuncia la llegada de una cuña anticiclónica de buen tiempo."

Téngase en cuenta que desde la explicación de un efecto sugestivo de contraste de colores, a otras muchas que hemos visto del fenómeno (6), no acaban de satisfacer por completo, aunque sólo sea porque, de ser ciertas, el rayo verde se vería con mucha mayor frecuencia de la desgraciadamente tan rara en que se puede observar.

La luz, al atravesar el aire, se halla sujeta no sólo a la absorción propia de los gases que lo componen, sino a la de difracción producida por los corpúsculos que lleva en suspensión, principalmente, de finísimas gotitas de agua. El tamaño de estas gotitas ejerce una acción selectiva en la difracción y absorción ulterior de la luz, según la longitud de onda; esto es, su color, y en intensidad proporcional a su número. Esta acción es la que produce la mayor o menor opacidad de las nubes y la lluvia, comp la posibilidad de la fotografía de rayos infrarrojos a través de la niebla o neblina. (7).

(6) Pueden verse: *Meteorologische Optik*, de Pernter y Exner, Viena, 1922, pág. 901, y *Physic of the Air*, de Humphreys, Nueva York, 1940, página 448.

(7) Puede verse nuestro artículo "La fotografía de los rayos infrarrojos" en el núm. 50, marzo de 1944, de la revista *Ejército*.

Sin ellas, al desaparecer la última porción de Sol, desfilarían sucesivamente los rayos rojos, amarillos, verdes, azules y violetas, con intensidad luminosa máxima para el ojo humano, en el amarillo y verde, y no se produce el vivo contraste del rayo verde; pero si las gotitas de agua están en las condiciones críticas para absorber las azules, sin llegar a oscurecer las verdes, la viveza de este color se exaltará, hasta el extremo de producirse el tan bello fenómeno que nos ocupa.

Así, al menos, nos explicamos nosotros tanto el mecanismo como la relativa rareza con que tiene lugar.

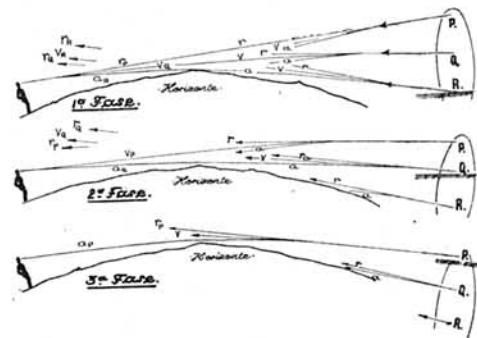


Fig. 4

MECANISMO DE PRODUCCION DEL RAYO VERDE

La curvatura creciente de los rayos r = rojo, v = verde y a = azul, en

- 1.ª Fase. El observador compone la luz de los tres rayos rojos de P, verde de Q y azules de R.
 - 2.ª Fase. Sólo el verde de P y azul de Q
 - 3.ª Fase. Ultimo rayo azul y violeta de P
- } Si hay absorción de A; rayo verde!

Si esta íntima constitución del aire y la distribución más o menos regular en temperatura de sus capas, varían la refracción y la coloración (8), es muy probable que podamos pasar inversamente, del estudio metódico de la irregular velocidad con que caen los astros a su ocaso y de la coloración del cielo en los crepúsculos, al conocimiento o presunción de aquella constitución, tan interesante a la Meteorología, que permitiría pasar de aforismos populares empíricos más o menos acertados a principios sentados en certeza científica.

(8) Véase: Gruner y Kleinert, "Die Dämmerungserscheinungen". Hamburgo, 1927.