



CÁLCULO DE LA ALTURA DE AURORAS BOREALES Y OTROS ELEMENTOS DEL CIELO

Carlos Vilés Labrandero

Octubre 2016

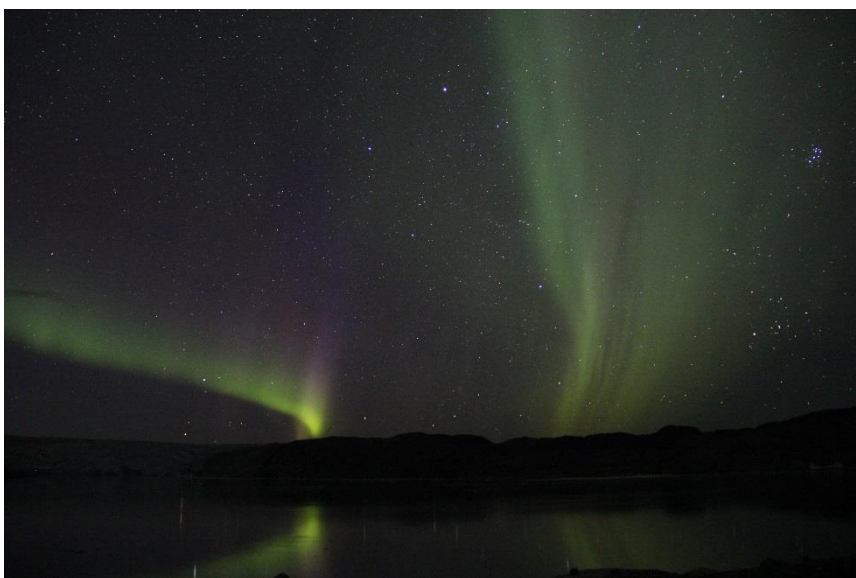
1. Introducción y objetivos

Durante dos semanas del mes de agosto se llevó a cabo la expedición de la Ruta de las Estrellas a Islandia y Groenlandia. El objetivo principal de esta expedición era observar y captar las auroras boreales, para posteriormente realizar este trabajo, que consiste en calcular la altura de formación de dichas auroras.

Antes, pero, vamos a hacer una breve introducción al concepto de aurora. Las auroras, boreales o australes según el polo terrestre en el cual aparecen, son un fenómeno producido cuando una expulsión de partículas solares cargadas entra en contacto con el campo magnético terrestre. Al chocar contra los átomos de los elementos de la atmósfera, estos entran en un estado de excitación que causa los colores en el cielo nocturno.

Según cuál sea el elemento excitado, los colores producidos serán diferentes. De este modo, los colores verdosos y rojizos son provocados por el oxígeno, mientras que los azulados y violetas por el nitrógeno. Los colores de las auroras nos ayudan a determinar de forma aproximada su altura de formación. A menor altura estarían las auroras en las que se excita el oxígeno, luego las de nitrógeno y a mayor altura, más difíciles de ver, las de hidrógeno.

Sin embargo, el objetivo de este trabajo es calcular la altura de formación de las auroras mediante otro método: por paralaje. Además, compararemos los resultados de las alturas de las auroras con otros elementos, como puede ser la altura de un avión o un satélite.



2. El método de paralaje

Para calcular la altura de las auroras, y también de los otros objetos del cielo, utilizaremos el cálculo por paralaje. Sin embargo, antes debemos haber tomado unas imágenes muy concretas con cámaras en Islandia y Groenlandia. El experimento consiste en separar dos cámaras observadoras del mismo modelo y objetivo la máxima distancia posible. Después, hay que enfocar al plano donde se encuentra la aurora, avión o satélite cuya altura queremos conocer. Finalmente, hay que coordinar las horas de las cámaras, sus parámetros y empezar a tomar series de fotografías a la vez, porque en el momento de hacer los cálculos utilizaremos una imagen de cada cámara tomada en el mismo instante, con una precisión que no puede superar el segundo. Si no cumplimos esta última condición, dado el rápido movimiento de las auroras, la forma de estas variará y por lo tanto el cálculo de la altura será erróneo.

Una vez tenemos las fotografías, el método de paralaje consiste en la siguiente fórmula:

$$h = \frac{d}{\sqrt{\frac{1}{\sin^2 \beta_1} + \frac{1}{\sin^2 \beta_2} - \frac{2 \cos \alpha}{\sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2}}}$$

Donde (ver figura 1):

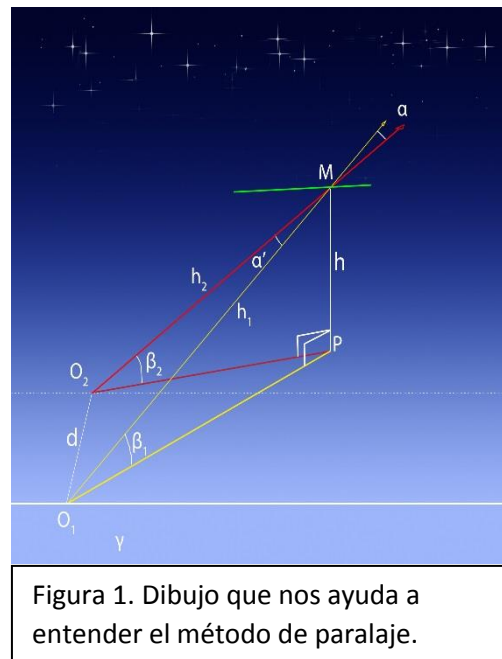
h = altura de formación de la aurora (el resultado que queremos obtener).

d = distancia de separación entre los puntos de observación.

β_1 y β_2 = distancia angular desde el horizonte del punto de observación hasta el punto de máxima intensidad de la aurora.

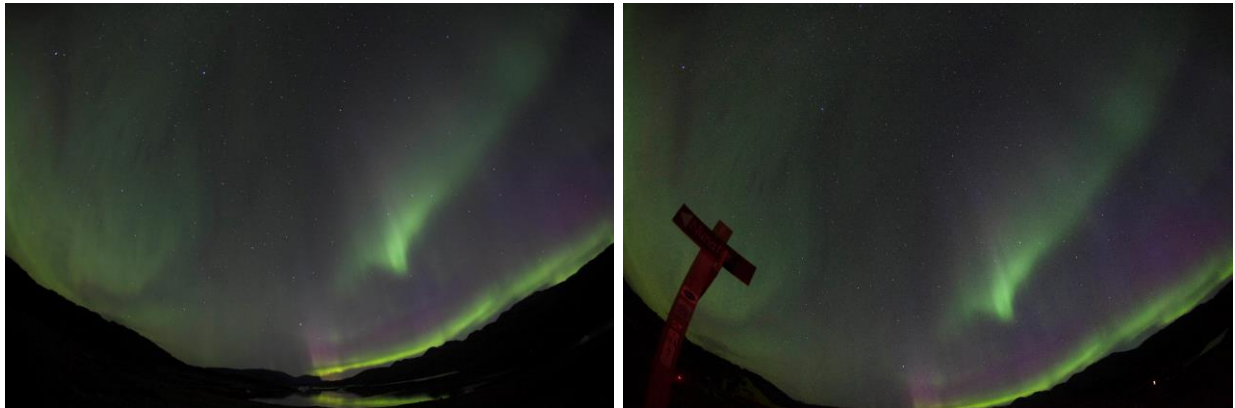
α_1 = diferencia angular entre las coordenadas ecuatoriales de los puntos de observación.

La clave para conseguir un buen paralaje es, por un lado, tomar las dos fotos en el mismo instante, y, por otro lado, intentar separar al máximo ambos puntos de observación para conseguir un resultado mejor.



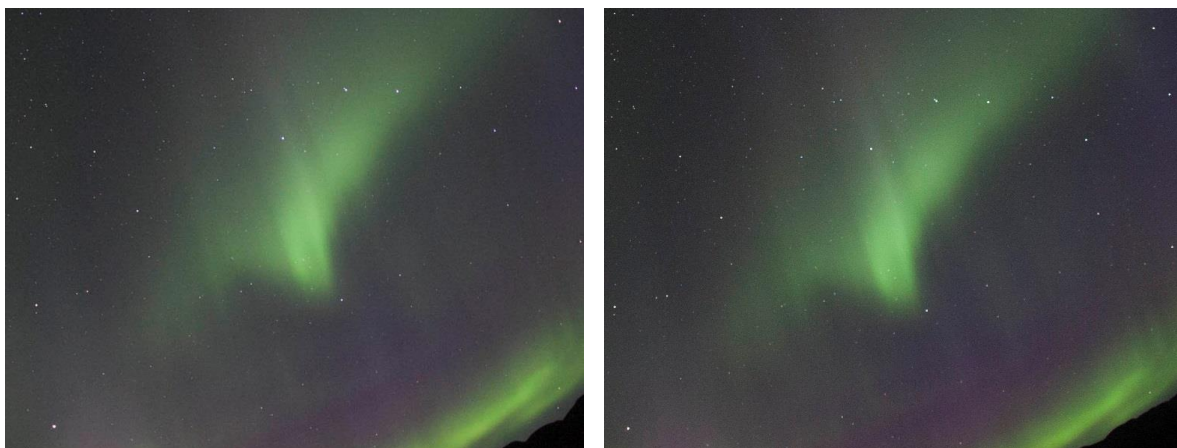
3. Cálculo de la altura de auroras

Empezamos calculando la altura de una aurora captada el 02/09/2016 en Tasiusaq, Groenlandia, a las 00:57:00h. El punto de observación 1 estaba situado en coordenadas de latitud 61 08 44 N y longitud 45 38 17 W, mientras que el punto 2 estaba situado en latitud 61 08 39 N y longitud 45 37 01 W, por lo que la distancia entre ambos observadores era de 1144.6 metros. Consideramos que las dos cámaras están ubicadas a nivel de mar.



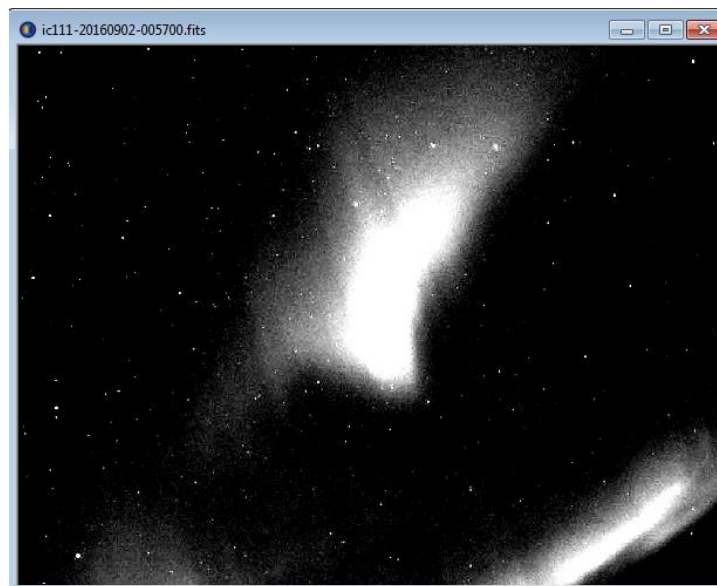
Figuras 2, 3. Imágenes captadas por las cámaras 1 y 2 a las 00:57:00h del 02/09/2016.

En primer lugar, astrometizamos las dos imágenes mediante el programa Astrometry.net. Eso nos permitirá conocer las coordenadas celestes, es decir, ascensión recta y declinación, del centro de la imagen, para realizar cálculos posteriores. En esta fase lo ideal sería recortar la imagen original ciñéndonos al máximo de la aurora cuya altura queremos calcular, para que el programa pueda detectar estrellas de referencia para astrometrizar la imagen. Una vez obtenidas las coordenadas del centro de la imagen, nos guardamos estos datos.



Figuras 4, 5. Imágenes de las cámaras 1 y 2 recortadas para astrometrizarlas.

Abrimos las imágenes en formato FITS con el programa Maxim DL y las pasamos a monocromático. A continuación, procedemos a hacer la astrometría con el PinPoint. Después, nos ayudamos de la herramienta del histograma para localizar exactamente el mismo máximo lumínico en ambas fotos. Una vez lo tenemos identificado, y gracias a la astrometría que hemos realizado anteriormente, podemos conocer las coordenadas ecuatoriales de ese punto.



Figuras 6, 7. Paso de una imagen a formato monocromático

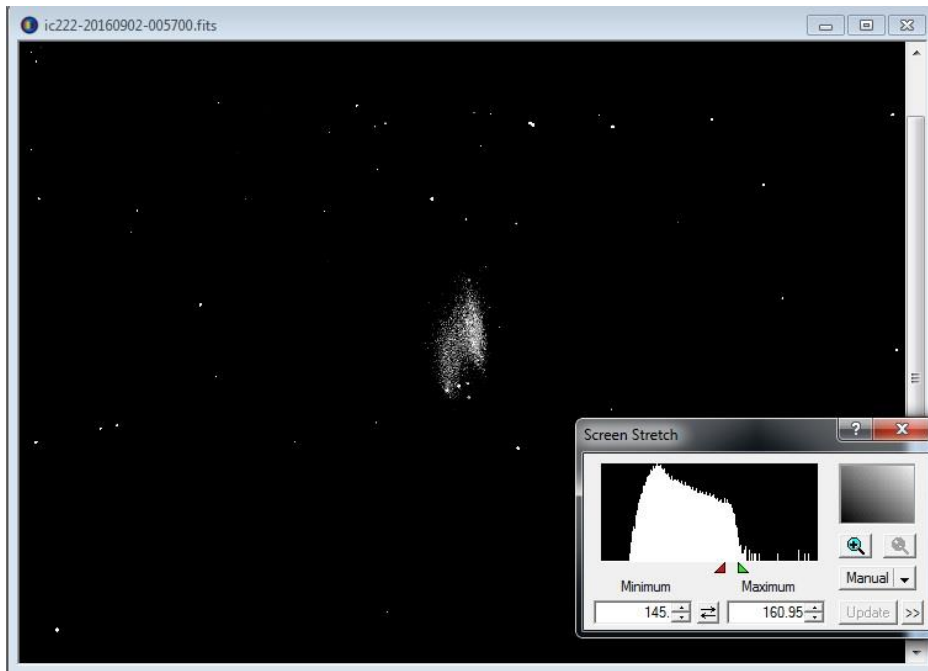


Figura 8. Utilizamos el histograma para localizar el máximo lumínico.

En este caso los resultados son los siguientes:

- **Punto 1.** RA: 15h 01m 11s. DEC: 40° 44' 11s
- **Punto 2.** RA: 15h 0m 30s. DEC: 40° 55' 13s

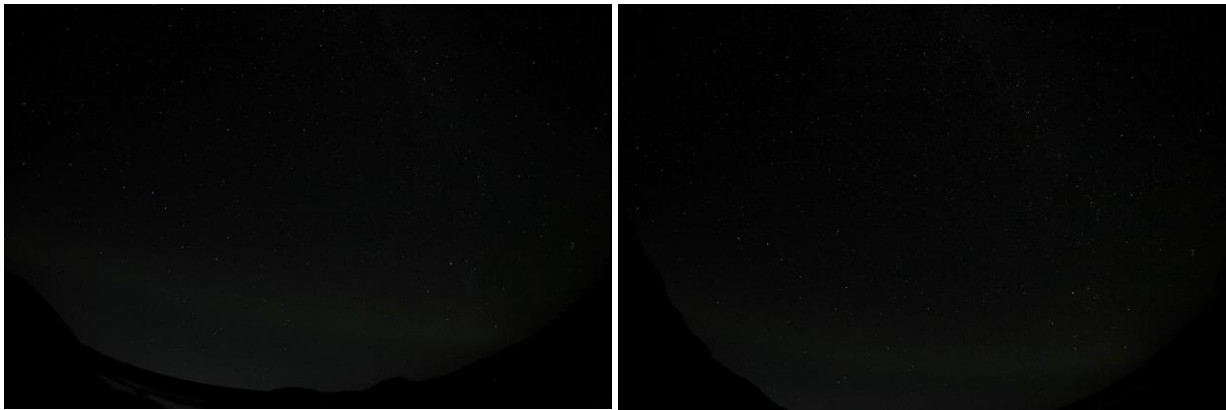
Pasamos estos datos a grados decimales:

- **Punto 1.** RA: 225.2958°. DEC: 40.7364°.
- **Punto 2.** RA: 225.1250°. DEC: 40.9203°.

Con estos datos, e introduciéndolos en un Excel que nos simplifica los cálculos, obtenemos que la altura de formación de esta aurora es de **160.32 kms**. De forma cualitativa sabemos que las auroras de colores verdes se forman a una altura que oscila entre los 120 y los 200 kms de altura, por lo que podemos verificar que el resultado de mi análisis sea correcto.

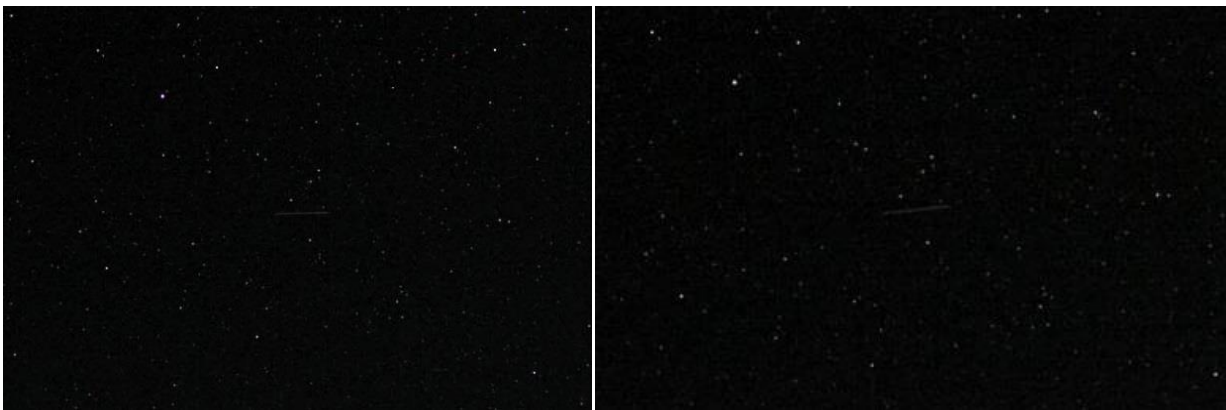
4. Cálculo de la altura de un satélite

Para contrastar los cálculos de la altura de formación de una aurora boreal, vamos a calcular con el mismo método de paralaje la altura de una aeronave. Utilizaremos las siguientes imágenes, ambas captadas el 29/08/2016 a las 01:22:39h en Groenlandia. El punto de observación 1 estaba situado en coordenadas de latitud 60 59 18 N y longitud 46 40 17 W, mientras que el punto 2 estaba situado en latitud 60 59 35 N y longitud 46 40 53 W, por lo que ambos puntos de observación estaban separados por una distancia de 753 metros. De la misma forma que antes, consideramos que los dos observadores están a nivel de mar con nula diferencia de altura entre ellos.



Figuras 6, 7. Imágenes originales captadas por las cámaras 1 y 2 el 29/08/2016 a las 01:22:39h.

Seguimos los mismos pasos que en el caso de la aurora. Primero recortamos las imágenes originales para obtener una mayor precisión a la hora de astrometrizar las fotos. Guardamos la ascensión recta y declinación del centro de la imagen.



Figuras 8, 9. Imágenes tomadas por las cámaras 1 y 2 recortadas para astrometrizarlas.

A continuación, utilizando el programa Maxim DL, abrimos los archivos en formato FITS y pasamos las imágenes a monocromático. Realizamos la astrometría de la imagen con el PinPoint y, una vez hecho esto, debemos seleccionar un punto de la traza del avión concreto en las mismas dos imágenes. En este caso he elegido uno de los extremos, porque al ser dos imágenes tomadas en el mismo instante y con los mismos parámetros, la traza será la misma en ambos casos.

De este modo, y gracias a la astrometría realizada, podemos obtener las siguientes coordenadas celestes de los dos puntos:

- **Punto 1.** RA: 05h 04m 46.259s. DEC: 80° 42' 18.654s
- **Punto 2.** RA: 05h 05m 35.723s. DEC: 80° 31' 55.156s

Pasamos estos datos a grados decimales:

- **Punto 1.** RA: 76.1930°. DEC: 80.7050°.
- **Punto 2.** RA: 76.3990°. DEC: 80.5320°.

Para terminar, introducimos estos resultados en un Excel, que nos simplifica los cálculos, y mediante la fórmula del paralaje obtenemos una altura de **173.34 kms**, lo que correspondería efectivamente a un satélite.

5. Conclusiones

Podemos concluir que el método de paralaje es muy útil para calcular la altura de elementos del cielo con un error bajo, no solo de auroras boreales, sino también de aviones, satélites, meteoros e incluso nubes. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los cálculos serán más precisos y exactos como más distancia haya entre las dos cámaras observadoras (alrededor de los 5 kms de separación es ideal), o si el objeto de altura desconocida está a menor altitud (por ejemplo, las nubes).

Para terminar, me gustaría destacar la dificultad de realizar todo el proceso de cálculos de este trabajo. El material fotográfico obtenido de la expedición es excelente, pero la cantidad de parámetros, programas y herramientas que hay que conocer para poder calcular con precisión la altura de un objeto es muy extensa y muy costoso. En el momento que se introduce un parámetro o coordenada erróneos, el resultado final puede variar de forma considerable.