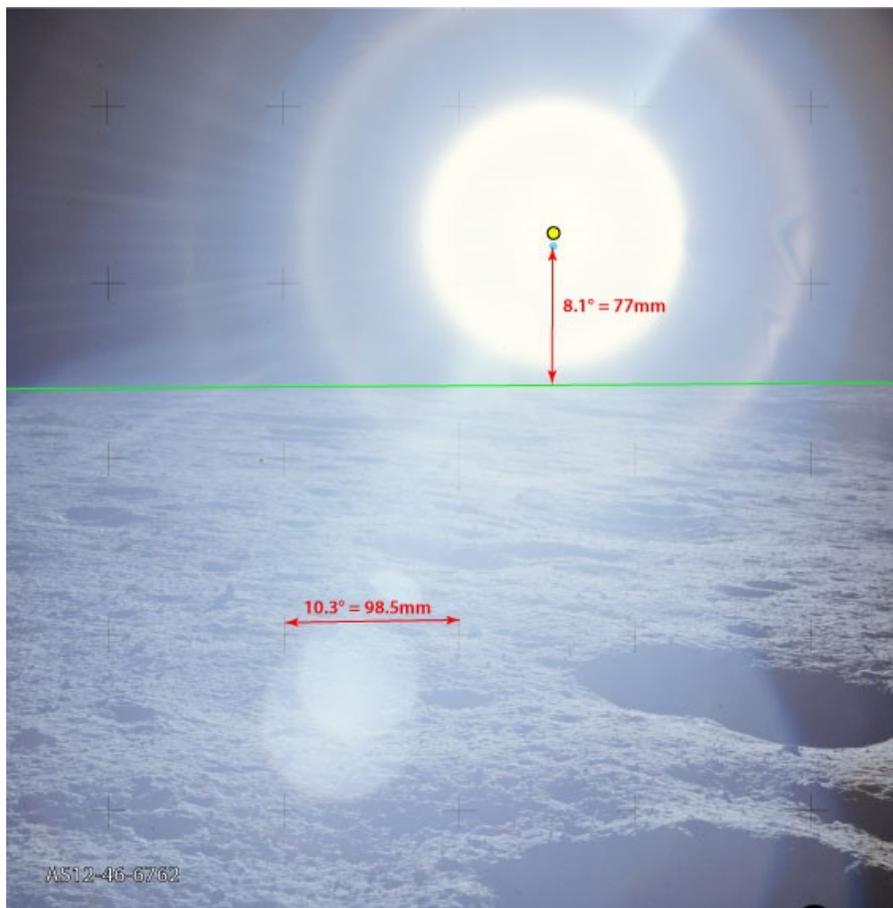


# ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN DEL SOL EN ALGUNAS MISIONES APOLO



Por: Francisco Villate  
Mayo 30, 2024, ver 1.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN DEL SOL EN ALGUNAS MISIONES APOLO

## INTRODUCCIÓN:

En este trabajo se analizan algunas fotografías tomadas en la superficie lunar por las misiones Apolo 11, 12 y 14. El objetivo es confirmar la elevación del Sol sobre el horizonte lunar y compararla con el valor esperado. En una investigación anterior, este análisis se realizó sólo sobre las fotos del Apolo 11, encontrándose que la elevación del Sol es mayor de lo esperado. Aquí queremos probar el uso de la misma metodología en otras misiones Apolo para determinar el grado de precisión o desviación del método utilizado.

En la superficie lunar, el Sol parece casi estático en el cielo, a diferencia de la Tierra, donde se mueve 15 grados cada hora. En la Luna, el Sol se mueve sólo 1 grado en el cielo en dos horas. Este hecho significa que el Sol se encuentra a una elevación sobre el horizonte dentro de un estrecho margen durante cada misión Apolo. Por ejemplo, en el caso del Apolo 11, durante la Actividad Extra Vehicular (EVA) que duró dos horas, el Sol estuvo entre 14,2° y 15,2° de elevación.

En un estudio anterior, se emplearon dos métodos para estimar la elevación del Sol en las fotos del Apolo 11. Un método consistía en medir las sombras en el terreno lunar, mientras que el otro utilizaba las marcas "+" de la placa Reseau que llevaban las cámaras de la misión Apolo. Las sombras proporcionaron una estimación razonable, pero el terreno lunar irregular y no horizontal hizo que este método fuera menos preciso. El método de utilizar las marcas del retículo de la cámara es más preciso, pero requiere encontrar la ubicación del horizonte lunar en las fotos analizadas. En este estudio, utilizaremos exclusivamente el método de la retícula de la cámara.

Dado que es necesario tener una buena idea de la localización del horizonte en las fotos analizadas, este estudio puede realizarse sólo para las misiones Apolo 11, 12 y 14, en las que encontramos zonas planas para determinar el horizonte. No es fácil hacer este análisis en las misiones Apolo 15, 16 y 17 porque aterrizaron en zonas montañosas, donde encontrar el horizonte lunar en las fotos es todo un reto.

La NASA utilizó cámaras Hasselblad 500EL especialmente adaptadas para las misiones Apolo. Eran cámaras de formato medio. Una de las cámaras utilizadas en las actividades extravehiculares estaba recubierta con una película reflectante para evitar el sobrecalentamiento. Esta cámara llevaba un objetivo de 60 mm y una placa Reseau. En varias de las fotos de las misiones Apolo, vemos un patrón de marcas "+". Esta característica indica que se utilizaba este tipo de cámara. Otra cámara, muy similar a la utilizada durante el EVA, tenía un objetivo de 80 mm. Esta cámara no tenía la placa Reseau ni el revestimiento especial. Los astronautas la utilizaron en algunas misiones durante sus actividades intravehiculares (IVA). Los detalles técnicos de las cámaras utilizadas en las misiones Apolo 11, 12 y 14 se encuentran en el Apéndice A.

La conclusión de este análisis es que la metodología utilizada es correcta. Los resultados en la elevación del Sol de lo que vemos en las fotos de Apolo 12 y 14, y lo que se espera comparado con los datos de la herramienta Horizons del JPL son consistentes. Pero en el caso del Apolo 11, muestra una gran

diferencia, lo que indica que los astronautas debieron tomar las fotos cuando ya estaban regresando, lo que es absurdo.

## METODOLOGÍA

El análisis utilizó las características de la cámara Hasselblad, concretamente las marcas de la placa Reseau que están separadas  $10,3^\circ$ <sup>7</sup>. Se realizaron dos tipos de análisis:

### 1- Observación directa del Sol:

En algunas fotos, el Sol aparece dentro del campo de visión. Entonces, es fácil estimar el centro de ese brillo creado en la foto y mostrar su posición sobre el horizonte. A veces, el Sol sale del campo de visión, pero vemos rayos solares que convergen hacia él. En este caso, proyectando los rayos solares en su intersección, podemos estimar la ubicación del Sol sobre el horizonte. También podemos extender la línea del horizonte fuera del campo de visión de la foto.

En las fotos analizadas con este método, dibujamos un círculo amarillo donde se estima la posición central del Sol. Además, dibujamos un pequeño disco azul indicando la posición que debería tener el Sol en la "elevación teórica". Los círculos azul y amarillo deben estar en la misma posición o muy cerca el uno del otro. Calculamos la elevación teórica utilizando la calculadora Horizons<sup>8</sup> del JPL. Cada foto de cada misión Apolo tiene una identificación con el número de foto en el catálogo y la hora en que los astronautas las tomaron. La hora que figura en las páginas de la NASA está expresada en horas, minutos y segundos desde el despegue de la nave en cada misión. La figura 1 muestra un ejemplo de este método.

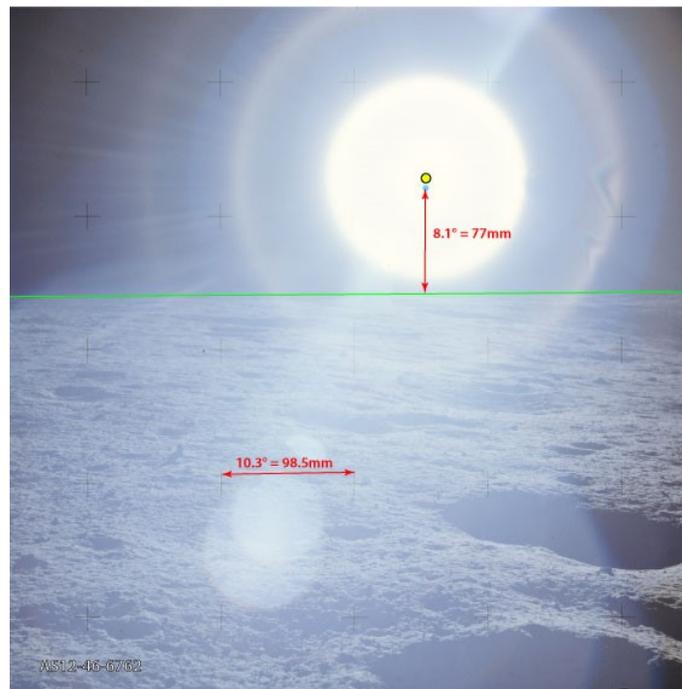


Figura 1- Análisis de la foto AS12-46-6762

En la figura, presentamos el análisis de la foto AS12-46-6762. La etiqueta "AS12" indica que es del Apolo 12, "46" se refiere al número del magazín que los astronautas instalaron en la cámara, y 6762 es el número de la foto. El círculo azul está a  $8,1^\circ$ , según los cálculos del sistema Horizons, que es la elevación teórica a la que debería haber estado en el momento de la foto. El círculo amarillo indica dónde debería estar el centro del Sol, que se ha estimado en la foto basándose en el gran disco brillante observado. Comprobamos que están muy cerca el uno del otro. La línea verde indica el horizonte lunar que se ve en la foto. En algunas fotos aparecen pequeñas montañas y depresiones en el horizonte. En ese caso, la línea verde del horizonte se ha trazado en la posición más baja de ese perfil ondulado, lo que está bien para las fotos Apolo 11, 12 y 14. Para las fotos del Apolo 15, 16 y 17, debido a que aterrizaron en lugares rodeados de montañas, no podemos utilizar el mismo procedimiento, ya que daría lugar a muchos errores, razón por la cual esas misiones no se han incluido en este análisis.

La separación entre cada marca "+" en las fotos es de  $10,3^\circ$ , según indica la documentación de la NASA<sup>7</sup>. El autor de este análisis amplió esta foto en una pantalla del ordenador y midió la separación entre esas marcas reticulares, obteniendo 98,5mm. Entonces, con una simple regla de tres, se puede calcular que para una elevación teórica de  $8,1^\circ$ , a la misma escala de la foto ampliada, el punto azul de la posición teórica del Sol debería estar a 77mm del horizonte. Así se realizó este análisis. El análisis de esta foto concluye que la posición del Sol es correcta, como era de esperar. El Sol está donde debería estar.

Nótese que el Sol proyecta líneas, como rayos solares, que se extienden alejándose del centro del Sol. Es decir, si trazamos esas líneas, convergerán donde está el Sol. Esto es útil para hacer el análisis en las fotos donde vemos los rayos solares, pero no vemos el Sol directamente, como se verá en otras fotos.

## 2- Observación del punto opuesto al Sol.

En este método, encontramos el punto opuesto al Sol, a unos 180 grados en la dirección opuesta. La figura 2 ilustra este método.

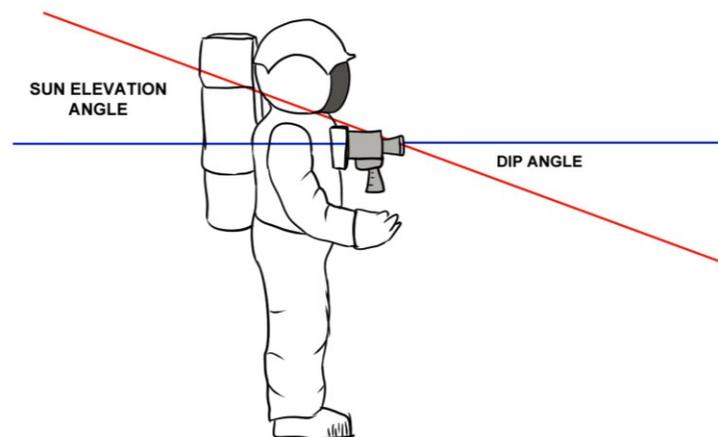


Figura 2- El ángulo de inclinación (Dip) es igual al ángulo de elevación.

Si observamos la foto de la figura 4, veremos la sombra del astronauta en el suelo. Podemos imaginar una línea recta que sale del centro del Sol, pasa por el objetivo de la cámara y se proyecta hacia el suelo

(línea roja en la figura 2). Esta línea tendrá un ángulo de elevación sobre el horizonte (línea azul) igual a la elevación del Sol en ese momento, y este ángulo es igual al ángulo de inclinación (Dip angle) del punto opuesto al Sol. En este método, no podemos estar seguros de dónde está el punto opuesto al Sol en el suelo porque no sabemos si el astronauta tenía la cámara sujeta en el soporte sobre del pecho, como se muestra en la figura 3, o la sujetaba con las manos en una posición más elevada. Por eso, en este método, no podemos dibujar un punto amarillo para mostrar la posición del Sol en las fotos (en este caso, la posición opuesta del Sol proyectada hacia el suelo).



Figura 3 – Astronauta del Apolo 17. Lleva la cámara Hasselblad en el soporte del pecho.

Este método tiene la ventaja de que no importa si el astronauta se encuentra en un terreno inclinado, por ejemplo, en una pequeña colina o en una depresión del terreno. La dirección del punto opuesto del Sol será la misma independientemente del perfil del suelo lunar. Lo esencial es que podamos observar el horizonte lunar en las fotos. Además, tiene el inconveniente de que no podemos estar seguros de si el astronauta sujeta la cámara con las manos en una posición más elevada o la sujeta en el soporte pectoral de su traje espacial.

Veamos un ejemplo de la foto AS14-67-9366, perteneciente a la colección Apolo 14 (figura 4). En ella vemos la sombra del astronauta cerca de los instrumentos que está instalando. Localizamos el punto azul basándonos en la elevación del Sol en el momento en que se tomó esta foto. Es posible que el astronauta estuviera sujetando la cámara con la mano derecha, lo que podría explicar por qué vemos una amplia sombra a un lado de su casco, que es esférico.

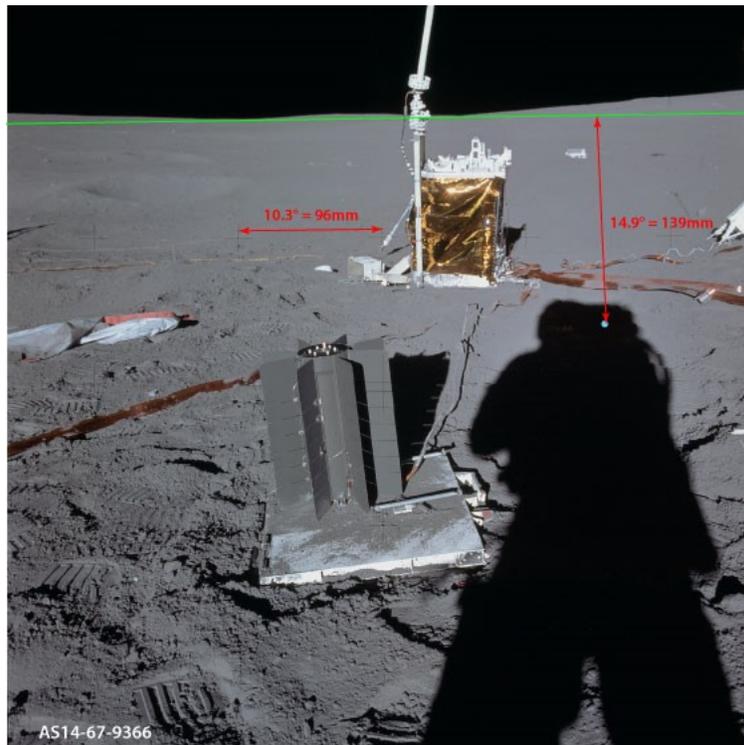


Figura 4- Análisis de la foto AS14-67-9366.

En este ejemplo, dibujamos el punto azul a  $14,9^\circ$  del horizonte indicado por la línea verde. Localizamos la línea verde del horizonte uniendo los dos puntos más bajos del perfil ondulado de las montañas lejanas. Como en el ejemplo anterior, medimos la separación entre las marcas de la cuadrícula en la foto ampliada, obteniendo 96 mm, lo que representa  $10,3^\circ$  de separación. Haciendo de nuevo la regla de tres, la separación de  $14,9^\circ$ , que es la elevación teórica del Sol, debería estar a 139mm de la línea verde.

Utilizando estos métodos, presentaremos el análisis de las fotos del Apolo 14, Apolo 12 y Apolo 11. Una tabla resumen en cada sección muestra los datos de las fotos a analizar, con la elevación teórica del Sol calculada con la herramienta Horizons. Véase en el Anexo B los resultados obtenidos con la herramienta Horizons para cada misión Apolo a analizar.

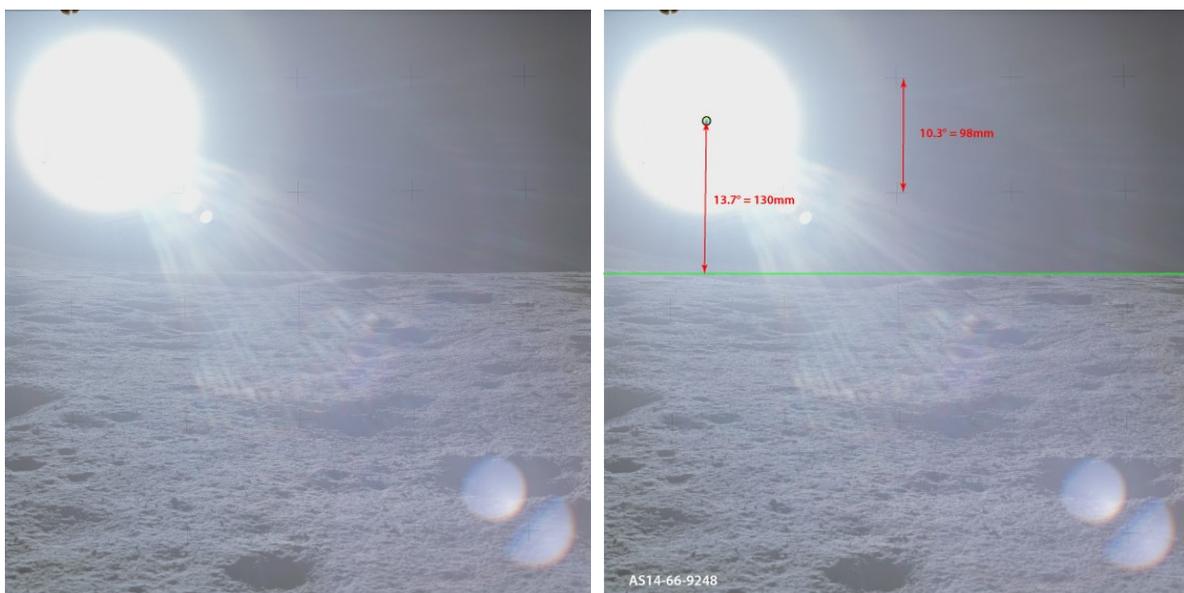
## ANÁLISIS FOTOGRÁFICO DEL APOLO 14

En la Tabla 1 se enumeran las fotos analizadas de la misión Apolo 14. Copiamos las fotos de los archivos de la NASA<sup>3</sup>. En el sitio web de la NASA donde encontramos las fotos, también podemos encontrar la hora de cada foto, indicada en formato horas:minutos:segundos desde el despegue del Saturno V. Convertimos esta hora para cada evento en fechas en formato UTC. El Apéndice B muestra los resultados de los cálculos con la herramienta Horizons del JPL, como la elevación esperada del Sol (elevación teórica) cuando se tomó la foto (última columna de la tabla). Usamos los valores de elevación del Sol para dibujar el punto azul en cada foto según la metodología ya explicada en este documento.

Misión Apolo	FOTO	Tiempo desde el despegue (HH:MIN:SEC)	Fecha (UTC)	Elevación del Sol Apolo 14 (grados)
A14	Despegue	0	31/1/1971 21:03	
A14	AS14-66-9248	114:53:38	5/2/1971 15:56	13.7
A14	AS14-66-9271	114:53:38	5/2/1971 15:56	13.7
A14	AS14-67-9366	117:17:41	5/2/1971 18:20	14.9
A14	AS14-67-9367	117:19:37	5/2/1971 18:22	14.9
A14	AS14-67-9389	117:42:37	5/2/1971 18:45	15.1
A14	AS14-68-9395	132:16:29	6/2/1971 09:19	22.4
A14	AS14-68-9445	133:25:38	6/2/1971 10:28	23.0

Tabla 1- Datos de las fotos del Apolo 14.

### FOTO AS14-66-9248:



## Análisis del Apolo 14

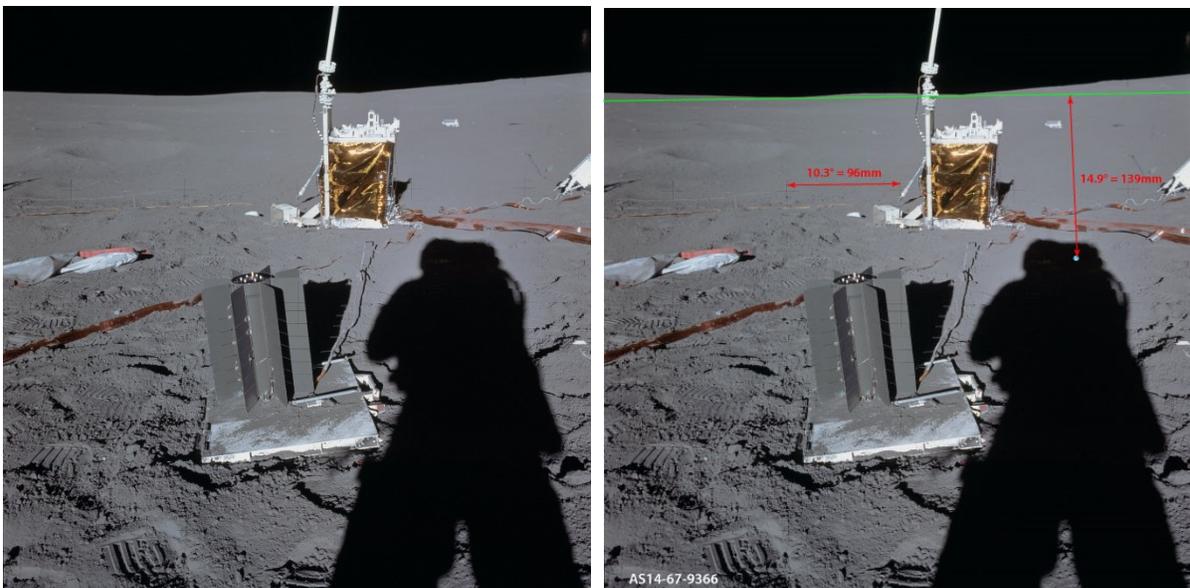
En la foto AS14-66-9248, la posición del Sol (punto amarillo) coincide exactamente con la posición teórica (punto azul). El horizonte a la derecha en la foto parece plano y sirve para proyectarlo a la izquierda, donde hay una pequeña colina.

### FOTO AS14-66-9271:



El astronauta podría estar sujetando la cámara con la mano derecha, y su sombra es parcialmente visible a la derecha de su casco.

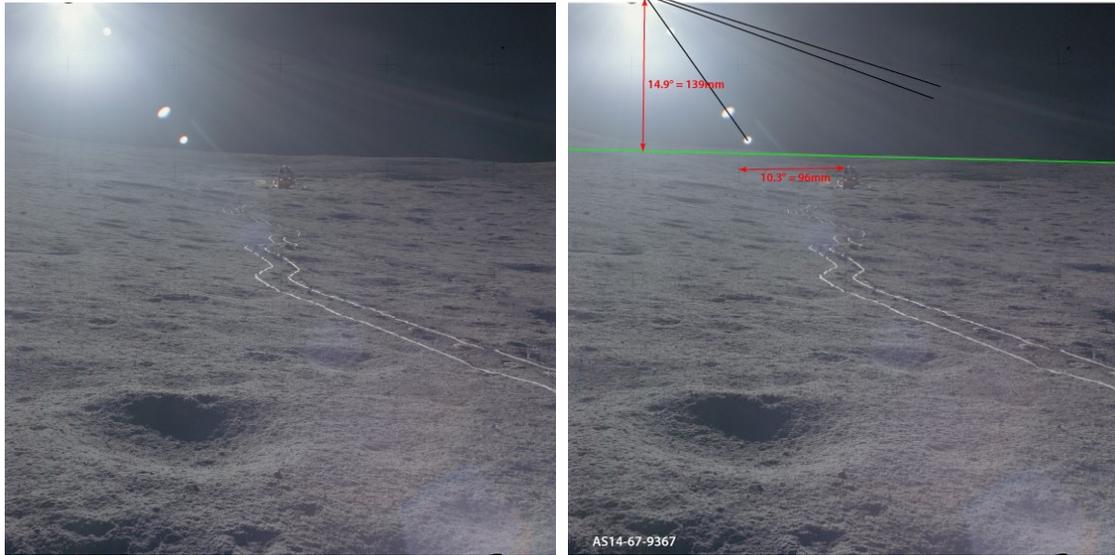
### FOTO AS14-67-9366:



El astronauta parece sujetar la cámara con la mano derecha.

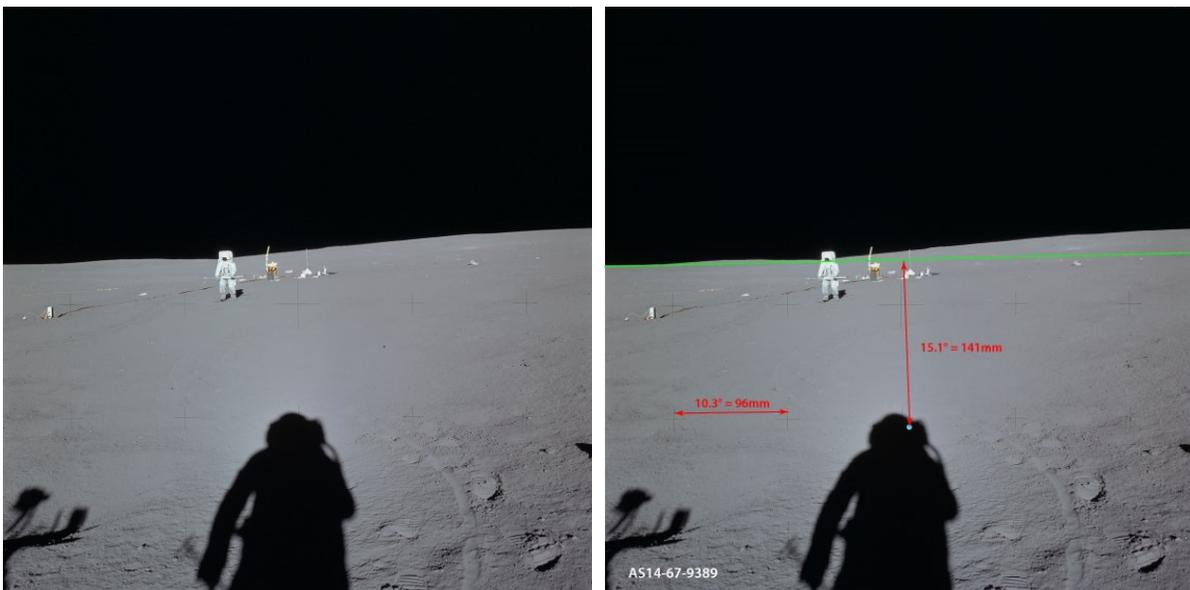
## Análisis del Apolo 14

### FOTO AS14-67-9367:



Encontramos la posición del Sol proyectando sus rayos. Está fuera de la foto, pero muy cerca de su borde superior. Los puntos azul y amarillo coinciden bien.

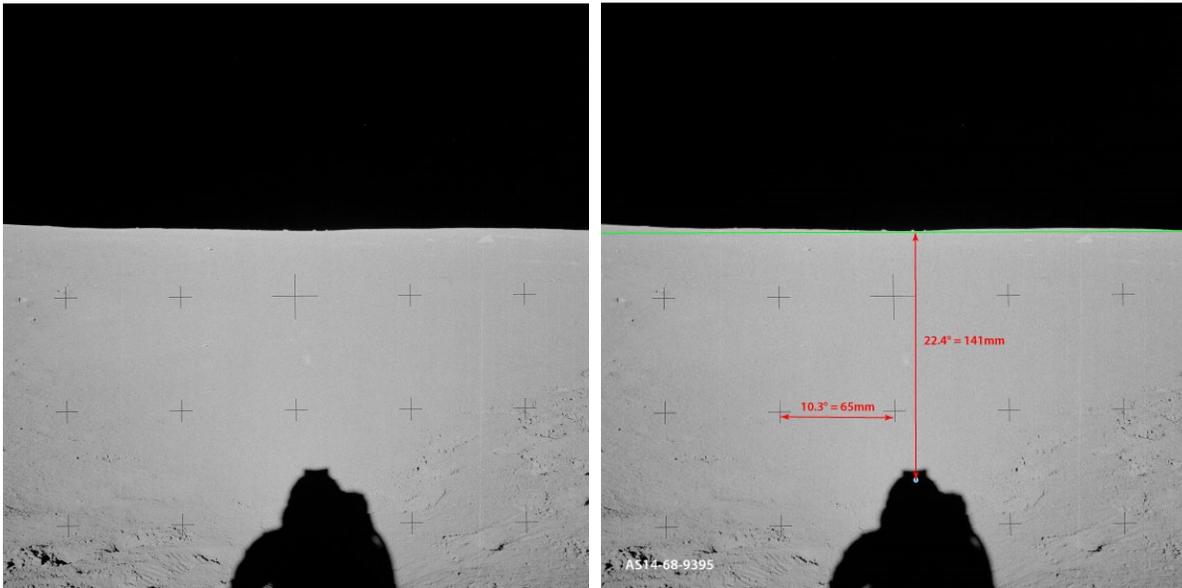
### FOTO AS14-67-9389:



De nuevo, el astronauta parece sostener la cámara con la mano derecha.

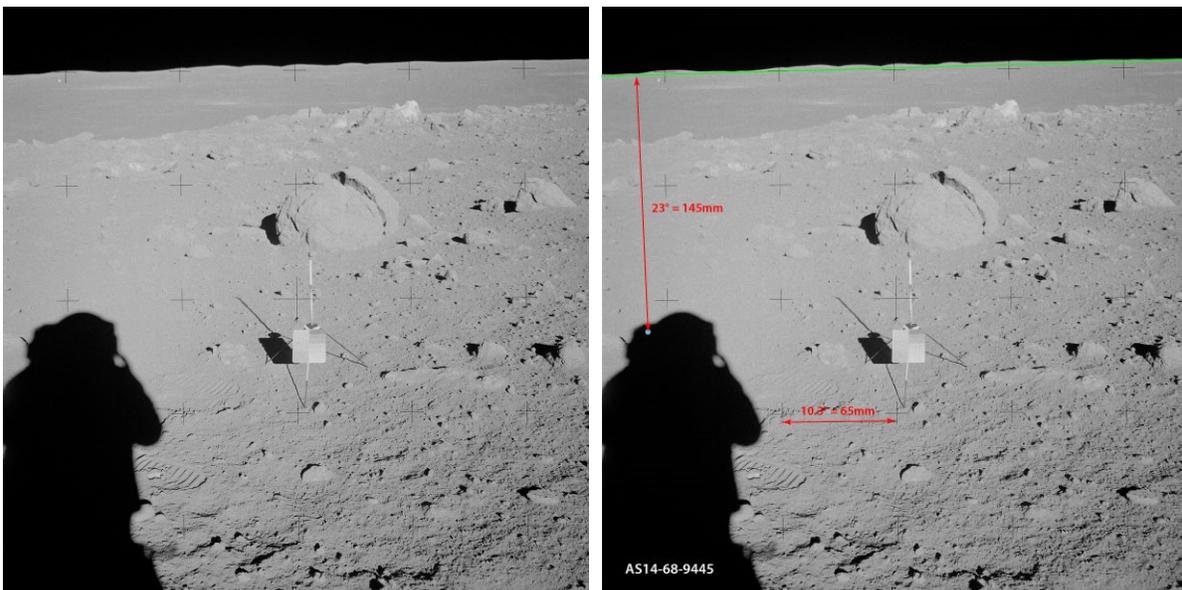
## Análisis del Apolo 14

### FOTO AS14-68-9395:



Podría tener la cámara justo delante de los ojos. Una forma plana en la parte superior de su casco podría ser la parte superior de la cámara.

### FOTO AS14-68-9445:



La cámara podría estar ahora a la izquierda en esta foto.

Todas las fotos analizadas del Apolo 14 son congruentes. La elevación del Sol es la esperada.

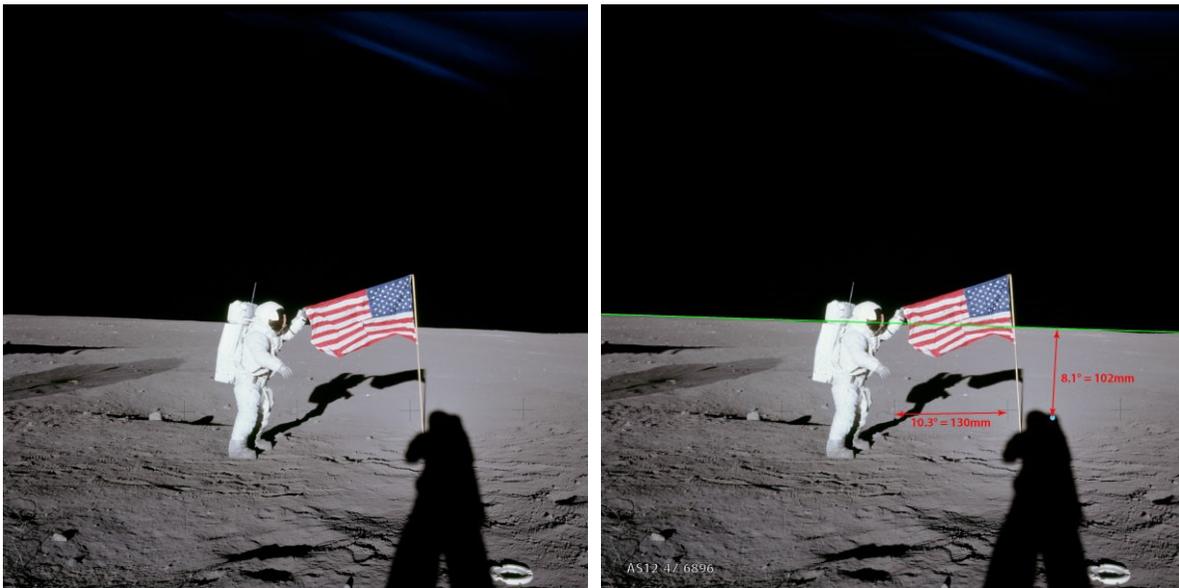
## ANÁLISIS FOTOGRÁFICO DEL APOLO 12

La Tabla 2 enumera las fotos<sup>2</sup> analizadas de la Misión Apolo 12.

Misión Apolo	FOTO	Tiempo desde el despegue (HH:MIN:SEC)	Fecha (UTC)	Elevación del Sol durante el Apollo 12 (grados)
A12	Despegue	0	14/11/1969 16:22	
A12	AS12-47-6896	116:20:22	19/11/1969 12:42	8.1
A12	AS12-46-6731	116:22:29	19/11/1969 12:44	8.1
A12	AS12-46-6738	116:22:29	19/11/1969 12:44	8.1
A12	AS12-46-6739	116:22:29	19/11/1969 12:44	8.1
A12	AS12-46-6752	116:24:47	19/11/1969 12:46	8.1
A12	AS12-46-6762	116:24:47	19/11/1969 12:46	8.1
A12	AS12-46-6764	116:27:03	19/11/1969 12:49	8.1
A12	AS12-47-6919	117:33:06	19/11/1969 13:55	8.7
A12	AS12-47-6941	118:28:18	19/11/1969 14:50	9.2

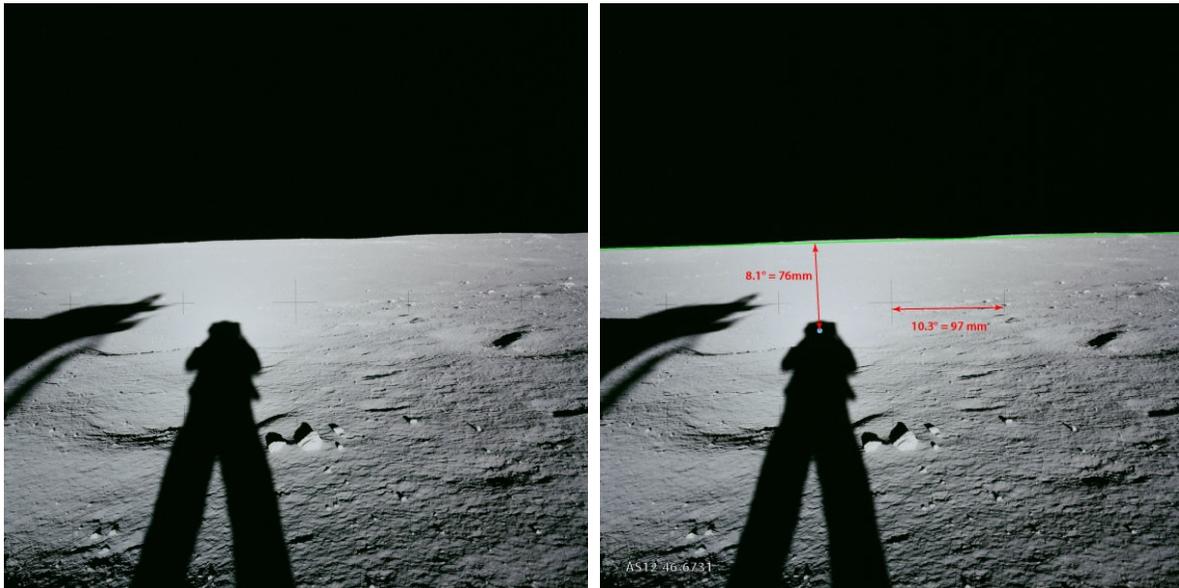
Tabla 2- Datos del análisis de las imágenes del Apolo 12.

### FOTO AS12-47-6896:



El fotógrafo parece sujetar la cámara con la mano derecha.

FOTO AS12-46-6731:



La sombra del astronauta parece más alargada que en las fotos del Apolo 14. Este efecto se debe a la baja elevación del Sol, a sólo 8,1 grados sobre el horizonte lunar.

FOTO AS12-46-6738:



Encontramos la ubicación del Sol extendiendo sus rayos hacia la derecha. Los puntos azul y amarillo están próximos. La pequeña diferencia puede deberse a la dificultad para definir el horizonte. En la misión Apolo 12, el soporte horizontal de la bandera en la parte superior del asta no funcionó bien, y la bandera no se mantuvo en alto como en las otras misiones.

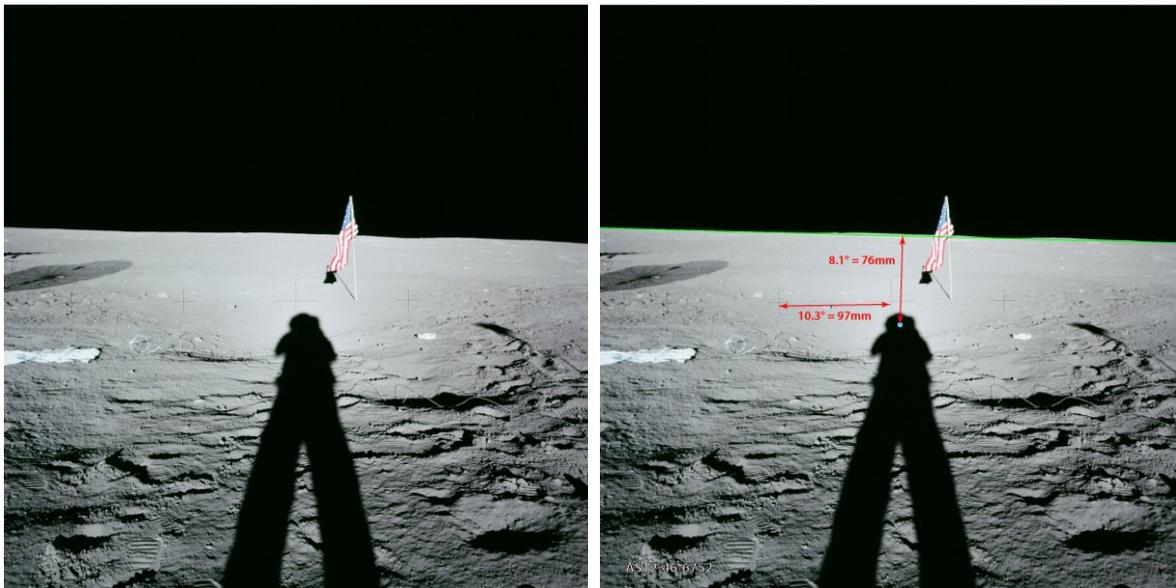
Análisis del Apolo 12

FOTO AS12-46-6739:



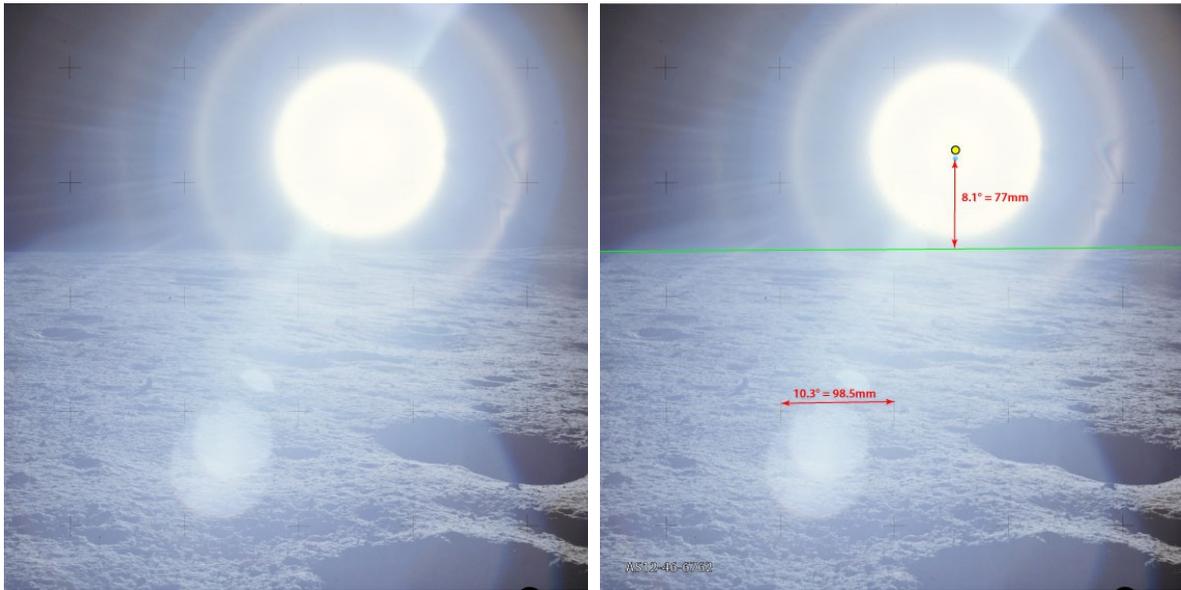
Coinciden bastante bien.

FOTO AS12-46-6752



Es posible que el astronauta sostenga la cámara con la mano derecha o delante de la cara. No lo sabemos con certeza.

FOTO AS12-46-6762:



De nuevo, el punto azul y el punto amarillo coinciden bastante bien.

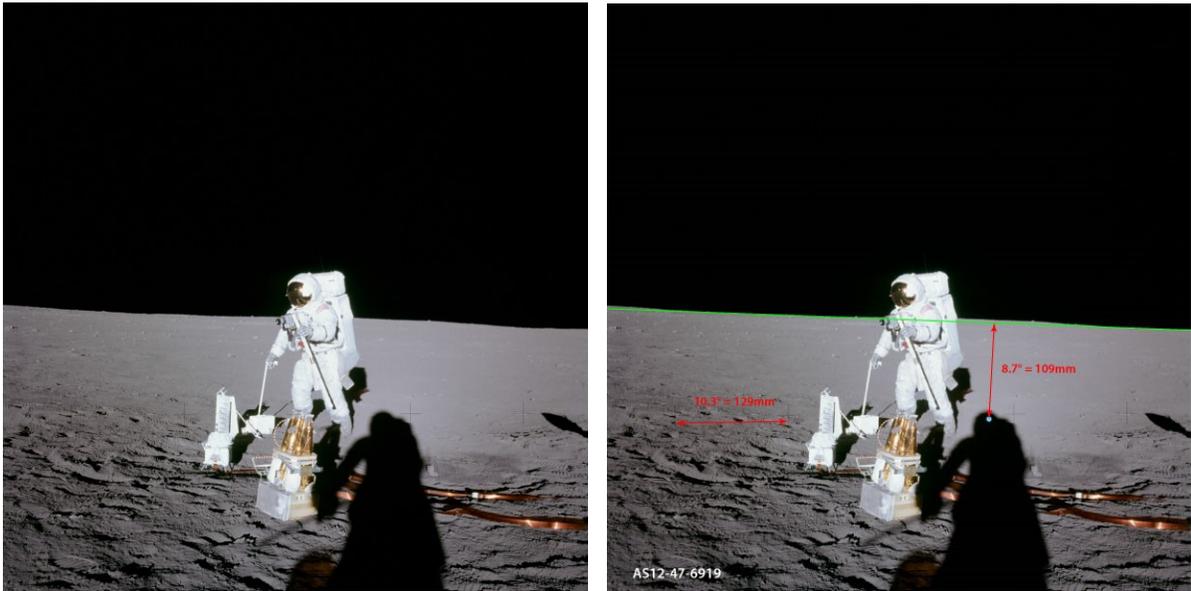
FOTO AS12-46-6764:



Proyectamos los rayos del Sol hacia la derecha. Ambos puntos coinciden bastante bien.

## Análisis del Apolo 12

### FOTO AS12-47-6919:



### FOTO AS12-47-6941:



Al igual que en el análisis de las fotos del Apolo 14, todas las fotos analizadas del Apolo 12 son congruentes. La elevación del Sol es la esperada. No hay diferencias que indiquen que algo no es correcto. Sin embargo, esto es diferente para el Apolo 11, que se analizará a continuación.

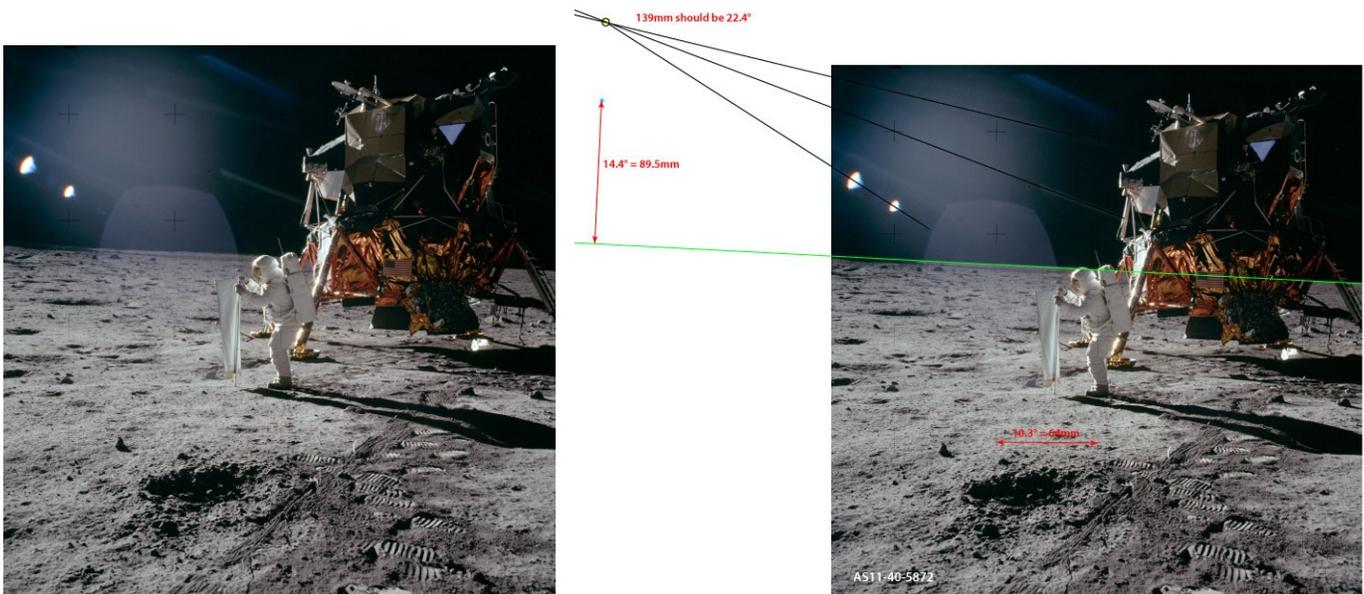
## ANÁLISIS FOTOGRÁFICO DEL APOLO 11

La Tabla 3 enumera las fotos analizadas de la misión Apolo 11. Al igual que en Apolo 12 y 14, calculamos las elevaciones del Sol sobre el horizonte lunar con la herramienta Horizons del JPL. Los valores obtenidos para cada foto se encuentran en el Apéndice B. Copiamos las fotos de la página web NASA<sup>1</sup>. En la misma página, podemos leer una descripción de una comparación de un par de fotos tomadas desde la cabina del módulo lunar, que no se muestran en este análisis. La primera cuando acababan de aterrizar y la segunda después de la actividad extravehicular: "La primera de las dos fotos fue tomada hacia las 21h 32m del 20 de julio de 1969 UTC/GMT; y la segunda hacia las 5h 43m del 21 de julio. Las elevaciones solares eran de 10,9 y 15,1 grados a las dos horas, respectivamente". Este comentario demuestra que no hay ningún error en la determinación de las horas ni en la elevación del Sol en los cálculos realizados en este estudio. Lo que dice en la página de la NASA sobre la elevación del Sol coincide con lo que encontramos con la calculadora Horizons.

Misión Apolo 11	FOTO	Tiempo desde el despegue (HH:MIN:SEC)	Fecha (UTC)	Elevación del Sol durante el Apollo 11 (grados)
A11	Despegue	0	16/7/1969 13:32	
A11	AS11-40-5872	110:03:24	21/7/1969 03:35	14.4
A11	AS11-40-5873	110:03:24	21/7/1969 03:35	14.4
A11	AS11-40-5882	110:31:47	21/7/1969 04:03	14.6
A11	AS11-40-5936	110:55:49	21/7/1969 04:27	14.9
A11	AS11-40-5961	111:11:31	21/7/1969 04:43	15.0
A11	AS11-40-5962	111:11:31	21/7/1969 04:43	15.0

Tabla 3 – Valores de elevación del Sol durante la misión Apolo 11.

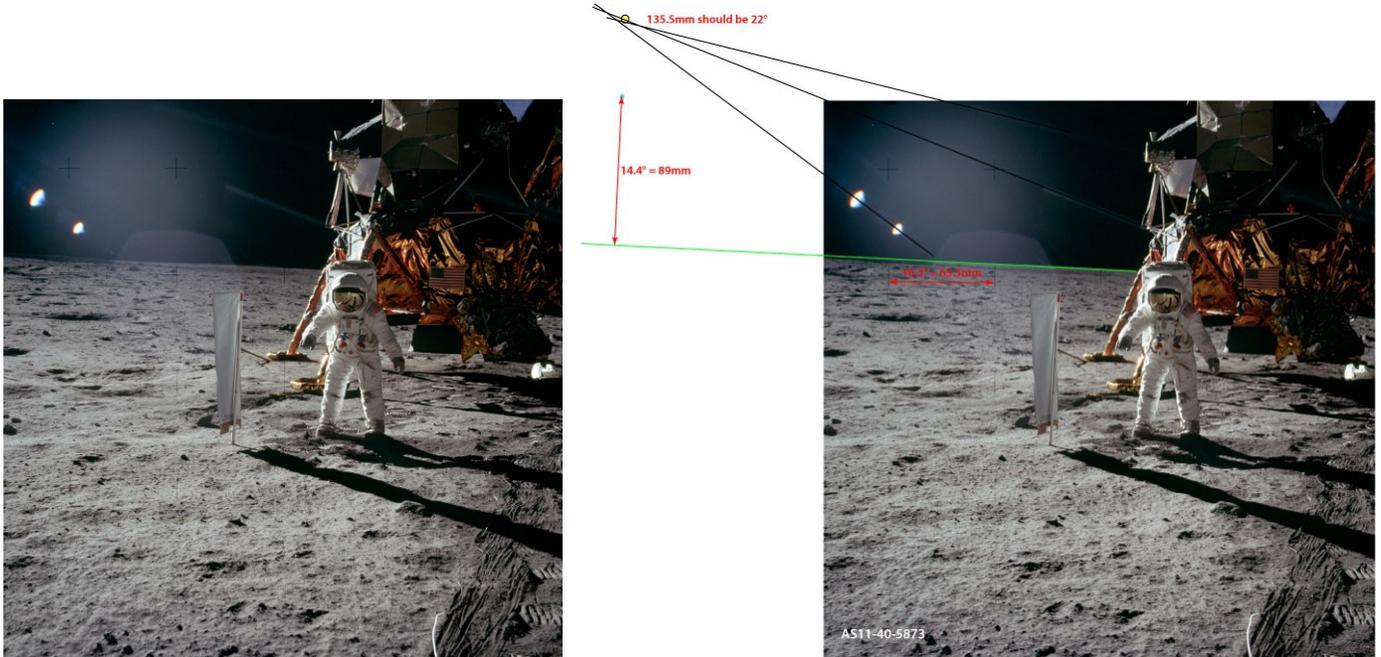
### FOTO AS11-40-5872:



## Análisis del Apolo 11

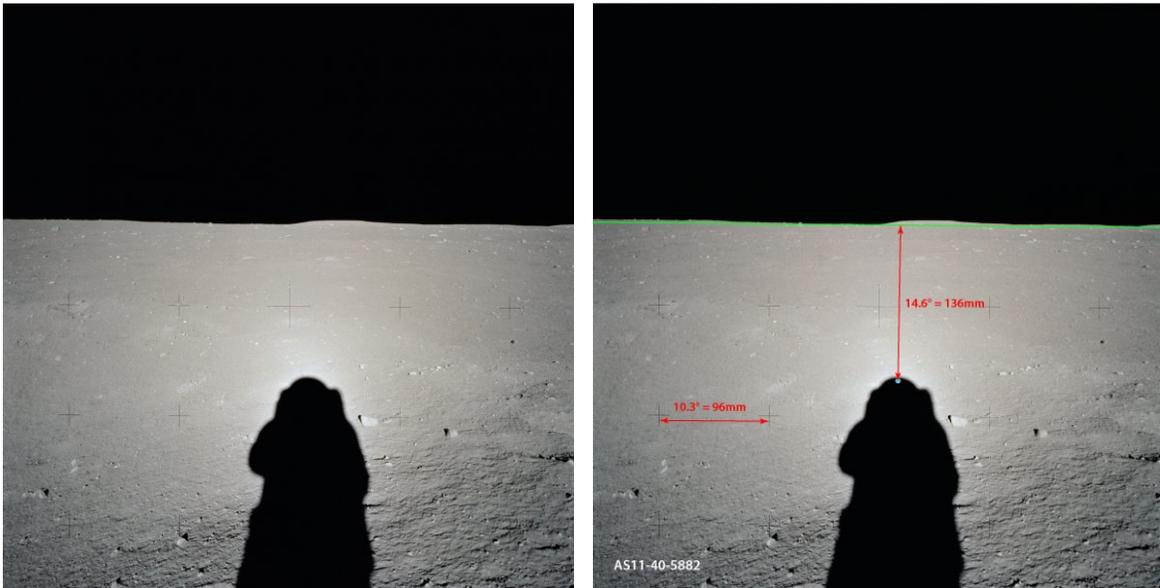
En este análisis, tenemos un resultado extraño. Siguiendo el mismo método utilizado en las misiones Apolo 12 y 14, al proyectar los rayos solares, la ubicación del Sol difiere significativamente de la elevación teórica. El Sol debe estar a 14,4 grados sobre el horizonte, pero lo encontramos a unos 22,4 grados de elevación. El valor de 22,4° puede tener un pequeño error al interpretar la dirección de los rayos solares y su convergencia en el Sol fuera de la imagen, pero no puede explicar la gran diferencia. No se explica por qué existe una diferencia significativa.

### FOTO AS11-40-5873:



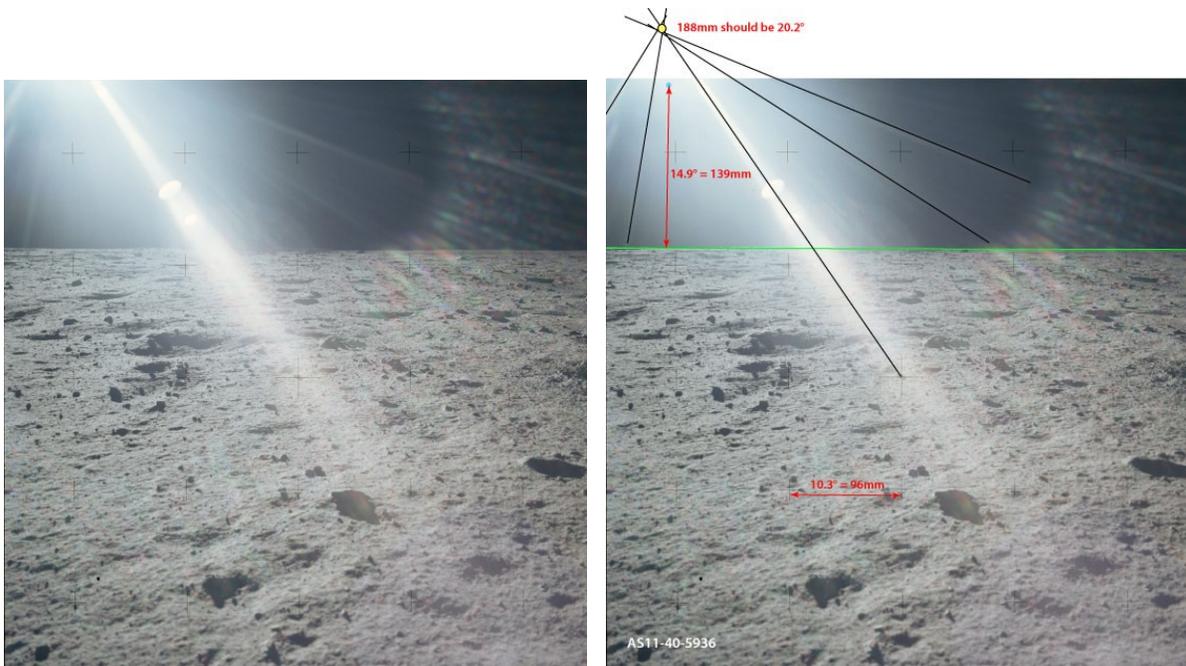
Esta foto, tomada justo después de la anterior, muestra resultados similares. El Sol debería estar a 14,4°, pero lo encontramos a 22° de elevación.

**FOTO AS11-40-5882:**



Esta foto muestra que el astronauta puede tener la cámara en una posición elevada. El Sol debe estar a 14,6° de elevación. Esta foto es similar a la foto AS14-68-9395 del Apolo 14, en la que vemos el borde superior plano de la cámara en las sombras. Sin embargo, en esta foto no vemos la sombra de la cámara sobresaliendo por encima del casco del astronauta.

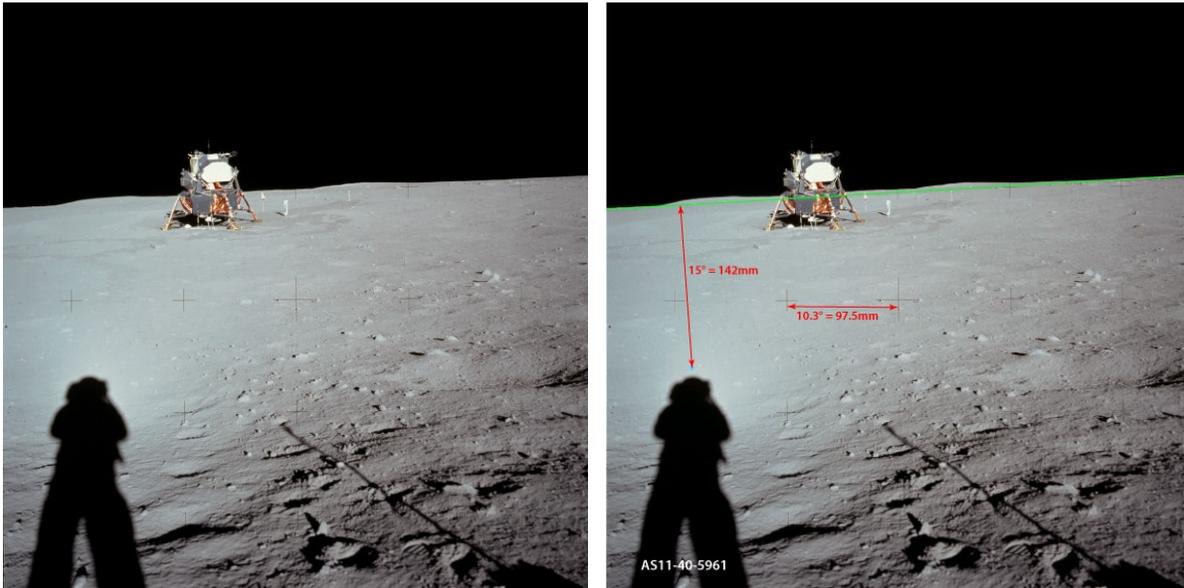
**FOTO AS11-40-5936:**



El Sol debería estar a 14,9°, dentro del campo de visión de la foto, pero está a 20,2°, muy por encima.

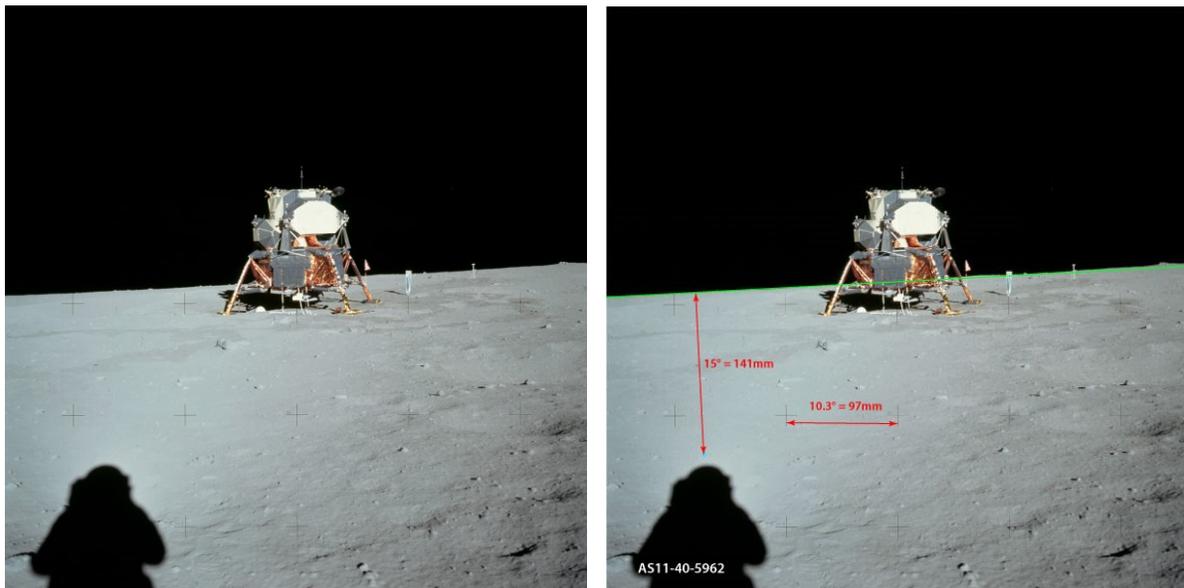
## Análisis del Apolo 11

### FOTO AS11-40-5961:



En esta foto, el Sol debe estar a  $15^\circ$ . El punto azul, que indica la posición opuesta del Sol con respecto al objetivo de la cámara, está por encima del casco del astronauta. Deberíamos ver la sombra de la cámara y de la mano del astronauta.

### FOTO AS11-40-5962:

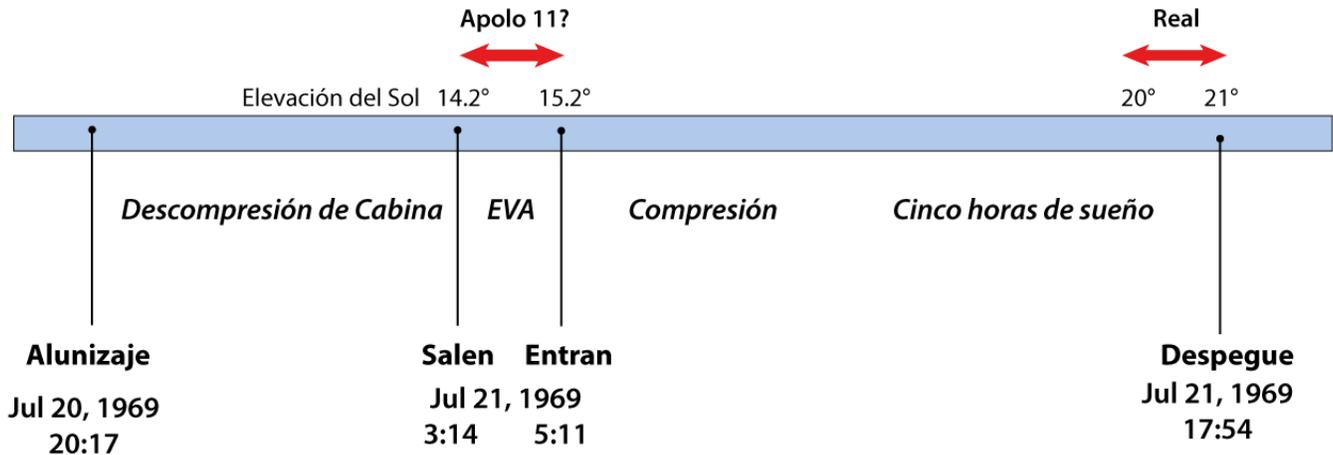


Similar al resultado de la foto anterior. No parece lógico que la cámara esté tan alta y no veamos su sombra.

Este análisis concluye que el Sol en las fotos del Apolo 11 está, en promedio, 6 grados más alto de lo esperado por razones desconocidas.

## Análisis del Apolo 11

Los astronautas del Apolo 11 no pudieron haber tomado estas fotos. Para ello, debieron tomarlas 12 horas después, cuando ya estaban despegando de la Luna para reunirse con Michael Collins. Cuando pisaron la superficie lunar, y Armstrong pisó la Luna por primera vez, el Sol estaba a  $14,2^\circ$  de elevación. Al finalizar la EVA y regresar al interior del módulo lunar, el Sol estaba a  $15,2^\circ$ . Los análisis de las fotos del Apolo 11, realizados con diferentes métodos, indican que el Sol que vemos en las fotos está entre 20 y 21 grados de elevación. Utilizando la calculadora Horizons y observando las horas en que se produjeron los distintos acontecimientos del Apolo 11, comprobamos que el Sol estaba entre 20 y 21 grados durante el despegue de la Luna.



Vimos la caminata lunar del Apolo 11 en directo el 20 de julio de 1969, tarde en la noche (EST). Si hubiera sido 12 horas más tarde, lo habríamos visto al mediodía del 21 de julio, no la noche anterior.

La pregunta es, ¿por qué vemos el Sol más alto en las fotos del Apolo 11? Los análisis realizados con los mismos métodos en las misiones Apolo 12 y Apolo 14 muestran resultados congruentes, pero el Apolo 11 no. ¿Hay alguna razón para ello?

# ANEXO A

## Detalles de las cámaras del Apolo 11, 12 y 14

La NASA utilizó las cámaras Hasselblad 500EL para las misiones Apolo. Hasselblad adaptó estas cámaras de formato medio para satisfacer las necesidades de la NASA y del Apolo. Normalmente, el módulo lunar de las misiones Apolo llevaba dos cámaras, una de las cuales se utilizaba durante la actividad extra-vehicular (EVA) y estaba cubierta con una capa plateada para resistir los rayos del sol. Esta cámara tenía un objetivo Biogon de 60 mm y una placa Reseau<sup>7</sup> con una cuadrícula de marcas "+" separadas 10 mm. La separación de cada marca equivalía a 10,3°, como se indica en las notas técnicas<sup>7</sup>. Había otra cámara Hasselblad, que era como la cámara EVA, sin embargo no tenía la protección para el ambiente de vacío externo en la superficie de la Luna, y utilizaba un objetivo Biogon de 80 mm y no una placa Reseau. Esta cámara estaba destinada a la actividad intra-vehicular (IVA).

### DETALLES DE LA CÁMARA DEL APOLO 11:

Este es un extracto de la documentación técnica<sup>4</sup>:

When the LM crew separated from the Command Module in preparation for the landing, they had two Hasselblad cameras:

- (1) A camera for use in the LM cabin, called the IntraVehicular Camera (IVA). The camera body was black and was not intended for use outside during the EVA. The IVA camera did not have a reseau plate, so images taken with it did not have a five-by-five grid of reseau crosses. The IVA camera had an 80mm (focal length) lens;
- (2) A camera for use outside on the lunar surface, called the ExtraVehicular Camera (EVA), which had a silver-colored finish to prevent overheating. It also had a reseau plate, so images taken with it did show a grid of crosses. The EVA camera had a 60mm lens.

Las fotos que vemos hoy del EVA del Apolo 11 que tienen las marcas cuadriculadas de la placa Reseau, fueron tomadas con la cámara del EVA, con un objetivo de 60 mm, que tiene una separación de 10,3° entre cada marca.

### DETALLES DE LAS CÁMARAS DEL APOLO 12:

El Apolo 12 utilizó las mismas cámaras, con las mismas especificaciones<sup>5</sup>:

70-mm Hasselblad Data Cameras. The two electrically powered data cameras that were carried on the lunar module featured semiautomatic operation. They used a 60-mm Biogon lens exclusively. The operating sequence was initiated by squeezing a trigger mounted on the camera handle. A 1-centimeter reseau grid was set in front of the image plane to provide photogrammetric information in the analysis of the photography. The cameras were bracket-mounted on the front of the LM astronauts' EVA suits. The settings and ranges for equipment on these cameras were:

Lens Focal Length:	60-mm Biogon
Focus:	5, 15, and 74 ft
Aperture:	f/5.6 to f/22
Shutter Speed:	1 sec to 1/500 sec
Field of View:	49.2° side, 66° diagonal
Film Magazine Capacity:	190 frames B&W, thin base 160 frames color, thin base

## DETALLES DE LAS CÁMARAS DEL APOLLO 14:

El Apolo 14 también utilizó las mismas cámaras, con las mismas especificaciones<sup>6</sup>:

70-mm Hasselblad Data Cameras. The three electronically powered Hasselblad data cameras that were carried on the mission featured semi-automatic operation. Two 60-mm-lens Hasselblad cameras were carried on the LM, and an 80-mm camera was carried on the CM. The operating sequence was initiated by squeezing a trigger mounted on the camera handle. A 1-cm reseau grid was set in front of the 60-mm lens image plane to provide photogrammetric information in the analysis of the photography. The Lunar Module cameras were bracket-mounted on the front of the LM astronauts' EVA suits. The settings, ranges, and characteristics for these camera lenses were:

Lens Focal Length:	60 mm	80 mm
Focus:	7 ft and 10 ft	3 ft to infinity
Aperture:	f/5.6 to f/22	f/2.8 to f/22
Shutter Speed:	1 sec to 1/500 sec	1 sec to 1/500 sec
Field of View:	49.2° side, 66° diag.	37.9° side, 51.8° diag.
Film Magazine Capacity:	190 frames B&W, thin base 160 frames color, thin base	

Todas las cámaras de los Apolo 11, 12 y 14, para EVA, utilizaban el mismo objetivo de 60 mm, y las fotos muestran marcas "+" separadas 10.3°.

# ANEXO B

## Elevación del Sol durante las misiones Apolo 11, 12 y 14

Para calcular la elevación del Sol sobre el Horizonte lunar durante cada Misión Apolo, utilizamos la herramienta del JPL llamada "Horizons System"<sup>8</sup>. Con esta herramienta, podemos calcular efemérides en el Sistema Solar. Podemos observar el Sol (Objeto a observar) desde una localización específica (localización de cada lugar de aterrizaje Apolo) y a una hora específica (Hora en UTC para la observación). Podemos definir qué datos queremos ver. En este caso, seleccionamos la Elevación y el Acimut del Sol.

### CÁLCULO DEL UTC EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN DEL VIAJE

En las páginas de la NASA encontramos muchas fotos de las misiones Apolo. Cada foto está marcada con las horas, minutos y segundos después del despegue en que comenzó la misión específica. Por ejemplo, la foto AS14-68-9445 lleva la hora 133:25:38. Significa 133 horas, 25 minutos y 38 segundos después de que el Apolo 14 despegara el 31/1/1971 a las 21:03 horas. Necesitamos convertir las 133:25:38 a UTC para comprobar la elevación del Sol en Horizonte. Para ello, en Excel, en una celda, añadimos la fecha de despegue (31/1/1971 21:03). En la siguiente celda, añadimos la hora de la foto medida en tiempo desde el despegue (133:25:38). Y por último, en una nueva celda añadimos la fórmula de sumar la fecha de despegue más las horas transcurridas, y obtenemos la fecha (UTC) de la foto. Por ejemplo, en la celda A1, introducimos 31/1/1971 21:03. Excel determina que se trata de un formato de fecha. Luego, en la celda B1, introducimos 133:25:38. Excel también determina que está en formato de fecha. Finalmente, en la celda C1, introducimos la fórmula: =A1 + B1. Obtenemos en la celda C1 la fecha 6/2/1971 10:28, en formato UTC, en la que se tomó esta foto.

Utilizando este método, podemos convertir la hora de cada foto en formato de fecha UTC.

### USANDO HORIZONS

La herramienta JPL se encuentra en: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/>

Estos son los parámetros a introducir para realizar un cálculo:

# Horizons System

[About](#) [App](#) [Manual](#) [Tutorial](#) [Time Spans](#) [News](#)

## Horizons Web Application

Save/Load Settings...

1	Ephemeris Type: <input type="text" value="Observer Table"/>
2	<input type="button" value="Edit"/> Target Body: <b>Sun [Sol]</b>
3	<input type="button" value="Edit"/> Observer Location: <b>Apollo-11 Lunar Module (landing site)@301</b>
4	<input type="button" value="Edit"/> Time Specification: Start= <b>1969-07-21 3:30 UT</b> , Stop= <b>1969-07-21 5:00</b> , Step= <b>10</b> (minutes)
5	<input type="button" value="Edit"/> Table Settings: <i>custom</i>

Item 1 es "Observer Table"

Item 2 es el Sol. Observaremos la elevación del Sol.

En el Item 3 damos el comando "apollo@301" en el campo de búsqueda. A continuación aparece la lista de misiones Apolo disponibles. Seleccione la misión Apolo que desee revisar.

En el Item 4: Introduzca las fechas UTC del punto de inicio y del punto final, además del intervalo de tiempo (por ejemplo, cada hora, cada 15 minutos, etc.)

En el Item 5: Hay muchas variables que calcular. Seleccione sólo "AZ y EL". Esto es para Azimut y Elevación del Sol.

Finalmente oprima CALCULATE EPHEMERIDES para ver los resultados.

Estos son los resultados de los Apolo 11, 12 y 14:

### APOLO 11:

```
*****
Ephemeris / WWW_USER Thu May 23 16:15:44 2024 Pasadena, USA / Horizons
*****
Target body name: Sun (10) {source: DE441}
Center body name: Moon (301) {source: DE441}
Center-site name: Apollo-11 Lunar Module (landing site)
*****
Start time : A.D. 1969-Jul-21 03:30:00.0000 UT
Stop time : A.D. 1969-Jul-21 05:00:00.0000 UT
Step-size : 10 minutes
*****
Date__(UT)__HR:MN Azi__(a-app)__Elev
*****
$$SOE
1969-Jul-21 03:30 *i 88.837657 14.373787
1969-Jul-21 03:40 *i 88.838348 14.458680
```

```

1969-Jul-21 03:50 *i 88.839036 14.543573
1969-Jul-21 04:00 *i 88.839723 14.628465
1969-Jul-21 04:10 *i 88.840406 14.713357
1969-Jul-21 04:20 *i 88.841088 14.798248
1969-Jul-21 04:30 *i 88.841767 14.883140
1969-Jul-21 04:40 *i 88.842444 14.968031
1969-Jul-21 04:50 *i 88.843118 15.052921
1969-Jul-21 05:00 *i 88.843790 15.137812
$$$$EOE *****

```

La elevación encontrada en el rango de tiempo seleccionado está entre 14,4° y 15,1°. Con estos valores, podemos conocer la elevación esperada del Sol sobre el horizonte Lunar para cada foto.

## APOLO 12:

```

*****
Ephemeris / WWW_USER Sat May 18 16:21:48 2024 Pasadena, USA / Horizons
*****
Target body name: Sun (10) {source: DE441}
Center body name: Moon (301) {source: DE441}
Center-site name: Apollo-12 Lunar Module (landing site)
*****
Start time : A.D. 1969-Nov-19 12:40:00.0000 UT
Stop time : A.D. 1969-Nov-19 14:50:00.0000 UT
Step-size : 10 minutes
*****
Date__(UT)__HR:MN Azi__(a-app)__Elev
*****
$$$$EOE
1969-Nov-19 12:40 *i 91.040082 8.058286
1969-Nov-19 12:50 *i 91.036006 8.142532
1969-Nov-19 13:00 *i 91.031931 8.226776
1969-Nov-19 13:10 *i 91.027858 8.311021
1969-Nov-19 13:20 *i 91.023786 8.395266
1969-Nov-19 13:30 *i 91.019716 8.479510
1969-Nov-19 13:40 *i 91.015647 8.563754
1969-Nov-19 13:50 *i 91.011579 8.647999
1969-Nov-19 14:00 *i 91.007512 8.732242
1969-Nov-19 14:10 *i 91.003447 8.816486
1969-Nov-19 14:20 *i 90.999384 8.900730
1969-Nov-19 14:30 *i 90.995321 8.984973
1969-Nov-19 14:40 *i 90.991260 9.069216
1969-Nov-19 14:50 *i 90.987200 9.153459
$$$$EOE
*****

```

La elevación encontrada en el rango de tiempo seleccionado está entre 8,05° y 9,15°. Con estos valores, podemos conocer la elevación esperada del Sol sobre el horizonte Lunar para cada foto.

## APOLO 14:

```

*****
Ephemeris / WWW_USER Mon May 20 06:37:27 2024 Pasadena, USA / Horizons
*****
Target body name: Sun (10) {source: DE441}
Center body name: Moon (301) {source: DE441}
Center-site name: Apollo-14 Lunar Module (landing site)
*****
Start time : A.D. 1971-Feb-05 15:30:00.0000 UT
Stop time : A.D. 1971-Feb-06 10:30:00.0000 UT
Step-size : 60 minutes
*****
Date__(UT)__HR:MN Azi__(a-app)__Elev
*****
$$SOE
1971-Feb-05 15:30 *i 89.341719 13.477994
1971-Feb-05 16:30 *i 89.306788 13.982955
1971-Feb-05 17:30 *i 89.271720 14.487905
1971-Feb-05 18:30 *i 89.236509 14.992843
1971-Feb-05 19:30 *i 89.201148 15.497769
1971-Feb-05 20:30 *i 89.165630 16.002683
1971-Feb-05 21:30 *i 89.129949 16.507584
1971-Feb-05 22:30 *i 89.094097 17.012474
1971-Feb-05 23:30 *i 89.058068 17.517350
1971-Feb-06 00:30 *i 89.021853 18.022214
1971-Feb-06 01:30 *i 88.985447 18.527065
1971-Feb-06 02:30 *i 88.948842 19.031903
1971-Feb-06 03:30 *i 88.912029 19.536728
1971-Feb-06 04:30 *i 88.875001 20.041539
1971-Feb-06 05:30 *i 88.837751 20.546337
1971-Feb-06 06:30 *i 88.800269 21.051120
1971-Feb-06 07:30 *i 88.762549 21.555890
1971-Feb-06 08:30 *i 88.724581 22.060646
1971-Feb-06 09:30 *i 88.686356 22.565387
1971-Feb-06 10:30 *i 88.647867 23.070113
$$EOE
*****

```

La elevación encontrada en el rango de tiempo seleccionado está entre 13,5° y 23,1°. Con estos valores, podemos conocer la elevación esperada del Sol sobre el horizonte Lunar para cada foto.

# NOTAS

- 1 *Apollo 11 Image Library*. (n.d.). Wwww.nasa.gov.  
<https://www.nasa.gov/history/alsj/a11/images11.html>
- 2 *Apollo 12 Image Library*. (n.d.). Wwww.nasa.gov. Retrieved May 25, 2024, from  
<https://www.nasa.gov/history/alsj/a12/images12.html>
- 3 *Apollo 14 Image Library*. (n.d.). Wwww.nasa.gov. Retrieved May 25, 2024, from  
<https://www.nasa.gov/history/alsj/a14/images14.html>
- 4 Jones, E. M. (2012). Apollo 11 Lunar Module Hasselblad Cameras and Magazines [Review of Apollo 11 Lunar Module Hasselblad Cameras and Magazines]. Apollo 11 Lunar Surface Journal; NASA. <https://www.nasa.gov/history/alsj/a11/a11LM-Cams-Mags.html>
- 5 Anderson, A. T., & Michlovitz, C. K. (1970, July). Apollo 12 Lunar Photography (K. Hug, Ed.) [Review of Apollo 12 Lunar Photography]. NASA.  
<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/a12/Apollo12LunPhotogNSSDC70-09.pdf>
- 6 Anderson, A. T. (1971, August). Apollo 14 Lunar Photography (M. A., Nicksch, Ed.) [Review of Apollo 14 Lunar Photography]. NASA.  
<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19720010767/downloads/19720010767.pdf>
- 7 Mehring, M., Parker, P., Woods, D., & Jones, E. (2003, November 21). Reseau Plate [Review of Reseau Plate]. Apollo Lunar Surface Journal; NASA.  
<https://www.nasa.gov/history/alsj/alsj-reseau.html>
- 8 Horizons System. (n.d.) [https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/.](https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/)