

CONSTRUCCIÓN DE UN TELESCOPIO REFLECTOR NEWTONIANO DE 15 cm

Construction of a Newtonian Reflector Telescope of 15 cm

RESUMEN

En este documento se muestra la metodología utilizada en el diseño y construcción de un telescopio reflector newtoniano de 15 cm de objetivo, 120 cm de distancia focal, y un f de 8; instalado sobre una montura acimutal. También se ilustran las imágenes finales del instrumento desarrollado, y fotografías astronómicas de algunos objetos celestes notables obtenidas gracias a la estructura óptica elaborada.

PALABRAS CLAVES: Astrofotografía, Coordenadas celestes, Espejo cóncavo, Magnitud estelar, Reflexión de la Luz.

ABSTRACT

In this document is showed the methodology that is used for designing and construction of a Newtonian reflector telescope of 15 cms objective, 120 cm focal distance, and 8#f installed on an azimuthal saddle. Also the last images of the developed instrument are illustrated and astronomical photographs of some notable celestial objects obtained thanks to the elaborated optical method.

KEYWORDS: *Astrophotography, celestial coordinates, concave mirror, reflection of light, stellar magnitude.*

EDWIN ANDRÉS QUINTERO

Ingeniero Electrónico
Estudiante Maestría en
Instrumentación Física
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
equintero@utp.edu.co

HUGO ARMANDO GALLEGO

MSc. Física
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
ugo@utp.edu.co

HOOVER OROZCO GALLEGO

MSc. Física
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
hog1084@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, la astronomía se destaca por ser una de las ramas más excitantes de la física, ya que permite al ser humano satisfacer su deseo incontrolable de conocer el entorno que lo rodea más allá de los límites imaginados. Cada vez que en los artículos afines a esta disciplina aparecen nuevas imágenes de lejanos mundos descubiertos, o galaxias tan distantes que se acercan al límite máximo de la historia del universo que podemos conocer; surgen preguntas cada vez más “descabelladas” cuyas soluciones propuestas solo podrán ser ratificadas o descartadas con nuevos resultados obtenidos de la observación.

Toda esta gran cantidad de información que permite extender las fronteras del conocimiento del cosmos, proviene de la *Radiación electromagnética* emitida por los cuerpos celestes. Naturalmente, los astros no solo emiten radiación en el espectro de la luz visible, sino que también lo hacen en longitudes de onda del *infrarrojo*, *ultravioleta*, *ondas de radio*, y señales de alta energía en la banda de *Microondas*. La diversidad en las formas de emisión de estos cuerpos, motiva a la implementación de diferentes tipos de instrumentos tales como *telescopios ópticos*, *radiotelescopios*, *espectroscopios* y *detectores de radiación cósmica de fondo (CMB)*; los cuales constituyen las herramientas de trabajo del astrónomo profesional o aficionado en su estudio del espacio exterior.

Aunque una gran cantidad de las investigaciones que se realizan en la actualidad, han centrado su atención en los resultados obtenidos gracias al uso de los radiotelescopios y a los detectores de CMB; los telescopios ópticos nunca perderán su importancia en la astronomía, ya que proporcionan información valiosa acerca de la variación en la luminosidad de los astros (por ejemplo en el estudio de estrellas variables), y los cambios en las características físicas de los cuerpos del sistema solar.

Una de las dificultades que experimentan los aficionados, consiste en que la gran mayoría de los medios ópticos que permiten acercar los objetos que habitan el cosmos, son de difícil acceso por su precio o por su ubicación. Por esta razón, en el presente documento se realiza una descripción de la metodología utilizada con el fin de construir un telescopio reflector newtoniano de 15 cm de objetivo, 120 cm de distancia focal, y un f de 8; con una curvatura esférica sin corrección de aberración de esfericidad. Las características del instrumento desarrollado permiten realizar observaciones de cuerpos del sistema solar, estrellas dobles, estrellas variables, nebulosas, cúmulos y algunas galaxias. Además, el mejoramiento de la mecánica utilizada en la montura construida, y la adaptación de un sistema electrónico de seguimiento; permitirán la utilización del instrumento con el fin de obtener imágenes de objetos celestes por medio de las diferentes técnicas existentes para realizar astrofotografía.

2. CONSTRUCCIÓN

2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TELESCOPIOS

Los telescopios astronómicos se clasifican en dos grupos: Refractores y reflectores.

Los telescopios refractores básicos utilizan un conjunto de lentes con el fin de crear una imagen ampliada del objeto en estudio (figura 1). El lente principal, conocido como *objetivo*, se encarga de concentrar los rayos de luz en un punto común o *foco*. Allí se crea una imagen virtual del objeto, la cual es ampliada por el *ocular* [1].

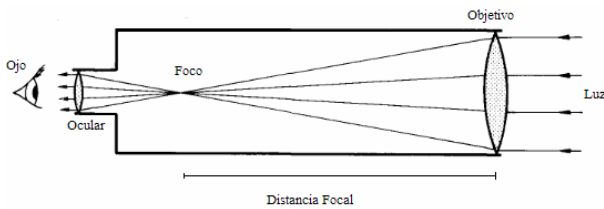


Figura 1. Telescopio refractor.

Este tipo de telescopios entró en desuso ya que presenta distorsiones difíciles de corregir, tales como la *aberración cromática*, la cual consiste en una desviación de la luz a diferentes focos, de acuerdo a la longitud de la onda lumínica incidente (color). Esta imperfección produce coloraciones rojizas o azules en los bordes del cuerpo celeste que se está observando. Otro limitante de este tipo de telescopios, consiste en la dificultad de pulir lentes de grandes tamaños. Además, entre más grande es la lente, más difícil es conservar la uniformidad en la densidad del cristal, de tal forma que todos los rayos de luz que inciden en diferentes secciones de la lente, sean desviados hacia el mismo foco [1].

Los telescopios reflectores son usados ampliamente ya que la radiación lumínica no es concentrada por un cristal sino por un espejo cóncavo (figura 2). Esto hace que la luz no tenga que atravesar todo el cristal para llegar al foco como en el caso de los refractores, sino que ella es reflejada directamente en la superficie del espejo principal. Este principio de funcionamiento elimina la distorsión por aberración cromática.

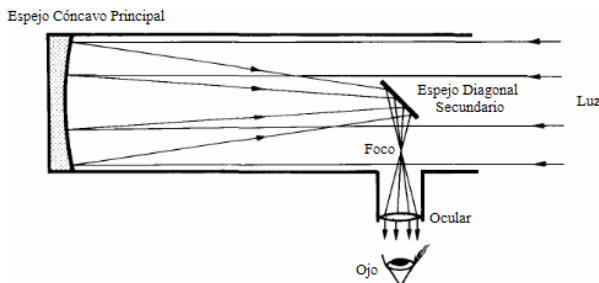


Figura 2. Telescopio reflector tipo Newtoniano.

El foco es desviado hacia la parte exterior del telescopio, a través de un espejo plano ubicado con una inclinación

de 45° con respecto al plano focal. De esta forma, en la parte lateral del tubo se crea una imagen virtual del objeto observado, la cual es ampliada por el ocular, al igual que ocurre en el telescopio refractor.

2.1.1 Características de los telescopios reflectores

a) Distancia Focal: Es la distancia existente entre el foco y el espejo principal.

b) Abertura: Es uno de los parámetros más importante, ya que indica la cantidad de luz que el instrumento óptico puede recoger. La apertura siempre corresponderá al diámetro del espejo o lente principal (objetivo) del telescopio. Como se puede notar, entre más grande sea la superficie del espejo cóncavo, mayor será la cantidad de luz captada del objeto en estudio.

c) Resolución o #f: La resolución de un telescopio óptico esta definida de la siguiente forma [1]:

$$\#f = \frac{f}{d} \quad (1)$$

Donde f es la distancia focal, y d es el diámetro del espejo principal.

El $\#f$ es un indicador de la luminosidad con la cual se presentará la imagen obtenida por el telescopio. Obsérvese que dicho valor disminuye a medida que se aumenta el diámetro del espejo, ya que este captará más luz. Por esta razón es posible afirmar que entre más bajo es el $\#f$ de un telescopio, más nítidas y brillantes serán las imágenes obtenidas. Sin embargo, una solución para esta expresión muy cercana a la unidad, implica una manifestación más pronunciada de la *aberración de esfericidad*. Cuando esto ocurre, el espejo principal no debe tener una superficie esférica (procedente de una sección del cascarón de una esfera), sino que debe adoptar una característica de curva *parabólica*, de tal forma que contrarreste los efectos de dicha aberración.

d) Aberración de esfericidad: Esta aberración, propia de las superficies reflexivas, se presenta cuando los rayos procedentes del borde del espejo, son desviados a un punto diferente a los incidentes cerca del centro del mismo. Este defecto de las superficies esféricas es más notorio para telescopios con $\#f$ menores que 8, ya que la superficie esférica resultante del proceso de pulido, comienza a diferenciarse de la parábola ideal.

e) Potencia o magnificación: El poder de ampliación de un telescopio está dado por [2]:

$$M = \frac{f_{obj}}{f_{oc}} \quad (2)$$

Donde f_{obj} es la distancia focal del objetivo y f_{oc} es la distancia focal del ocular.

f) Poder de separación: Es la capacidad que tiene el instrumento para separar dos objetos cercanos, como por ejemplo una estrella doble. Este parámetro está dado por la medida angular de la mancha de difracción (disco de Airy). Cuando la luz incidente está constituida por dos fuentes puntuales muy cercanas, los rayos de luz ingresan al telescopio con ángulos diferentes, interfiriendo en el foco, y originando una imagen mezclada de las dos fuentes. Considérese el telescopio con una sección circular de ingreso de luz de radio R en el plano xy , tal como se muestra en la figura 3. De esta forma, la luz ingresará en el instrumento procedente de la dirección del eje z *negativo* y paralelo al plano xy , creando un ángulo θ con el eje x .

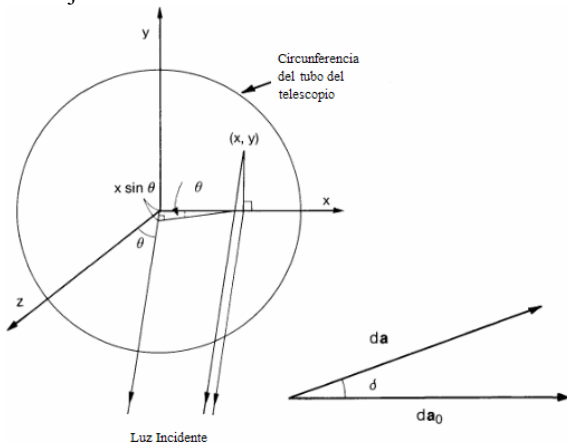


Figura 3. Rayos de dos fuentes puntuales ingresando al telescopio.

La diferencia de fase entre la luz de la onda que ingresa por el origen y la luz de la fuente que ingresa por el punto (x,y) será [2]:

$$\delta = \frac{s}{\lambda} 2\pi \quad \text{con} \quad s = x \sin \theta$$

$$\delta = \frac{2\pi \sin \theta}{\lambda} x = kx \quad (3)$$

De esta forma, la diferencia de fase solo depende de la coordenada x . Por otra parte, la suma de las amplitudes de las ondas en un área infinitesimal de la superficie, debe ser proporcional a dicha área, es decir a $dx dy$. Por lo tanto, la amplitud total de las ondas en el origen será $da_0 = dx dy$, y la amplitud de las ondas que ingresan por el punto (x,y) será:

$$da = dx dy (\cos \delta \vec{i} + \sin \delta \vec{j})$$

La amplitud total de la onda que ingresa por (x,y) corresponderá a la suma de todos los diferenciales en la circunferencia de radio R .

$$a = \int_{x=-R}^R \int_{y=-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} (\cos kx \vec{i} + \sin kx \vec{j}) dy dx$$

$$a = 2 \int_{-R}^R \sqrt{R^2 - x^2} (\cos kx \vec{i} + \sin kx \vec{j}) dx$$

Como el seno es una función impar, obtenemos:

$$a = \int_0^R \sqrt{R^2 - x^2} \cos kx dx$$

Sustituyendo $x=Rt$, ya que el radio R define la variación de x , y definiendo de (3) $p=kR=(2\pi R \sin \theta)/\lambda$:

$$a = \int_0^1 \sqrt{1-t^2} \cos ptdt \quad (4)$$

La ecuación (4) permite determinar la intensidad de la luz emitida por la fuente puntual cuya radiación ingresa por el origen. Esta zona conforma el disco de Airy. La luz de la siguiente fuente puntual debe ingresar por una zona del círculo, sobre la cual no exista intensidad de la primera fuente, con el fin de evitar la interferencia, es decir, se debe cumplir que:

$$\int_0^1 \sqrt{1-t^2} \cos ptdt = 0$$

La primera solución para esta ecuación se encuentra en $p=3.8317$, o lo que es igual:

$$\frac{2\pi R \sin \theta}{\lambda} = 3.8317$$

Así, el radio del disco de difracción de Airy está dado por:

$$\sin \theta = \frac{3.8317}{2\pi R} \lambda = 1.22 \frac{\lambda}{D} \text{ rad.} \quad (5)$$

g) Magnitud límite: El tamaño de la pupila del ojo humano permite detectar estrellas de hasta 6° magnitud. Naturalmente, esta sensibilidad depende directamente del área de la superficie recolectora de los rayos de luz (pupila en el caso humano, o espejo en el caso del telescopio). De esta forma, al utilizar un instrumento óptico, este límite aumentará notablemente. En los telescopios, la magnitud límite se puede obtener de la siguiente expresión [2]:

$$m_{lim} = 6 + 5 \log d \quad (6)$$

Donde d es el diámetro del espejo principal en cm.

2.2 ESPEJO PRINCIPAL

Para evitar distorsiones causadas por la aberración esférica, el espejo principal fue pulido con el fin de obtener un $\#f$ menor que 8. Debido a que este valor corresponde al cociente entre la distancia focal y la abertura, dos valores razonables que cumplen con esta condición son $f=120cm$ y $d= 15cm$ [3]. Con estos valores de diseño, el telescopio obtuvo las siguientes características:

Abertura:	15cm
Distancia focal:	120cm
Poder de separación:	(0.93) ^{''}
Potencia máxima:	240 X (para un ocular de $f=5\text{mm}$)
Magnitud límite:	11.88

Para la construcción del espejo principal, inicialmente se procedió con la adquisición de dos discos de cristal con un espesor de 6mm y 15cm de diámetro, de tal forma que uno de ellos cumpliera las funciones de *herramienta pulidora*, cuya acción sobre el segundo trozo de vidrio convertirá a este último en el *espejo principal* (en adelante los trozos de vidrio se indicarán con estos nombres). En este punto es importante resaltar que el corte de las circunferencias de cristal se debe realizar utilizando cortadoras láser con el fin de conservar uniformidad en el corte (figura 4).

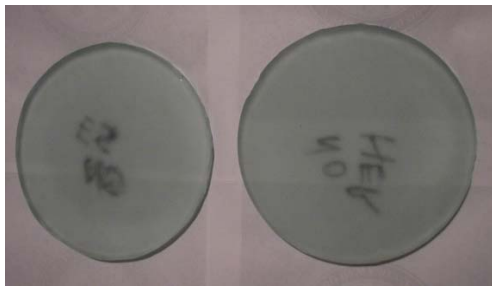


Figura 4. Vidrios circulares utilizados en el proyecto.

La figura 5 muestra el diagrama de flujo del procedimiento de pulido. Para esto es necesario el uso de abrasivos que posibiliten el desbastado del cristal, y por consiguiente, la curvatura que proporciona la concavidad.

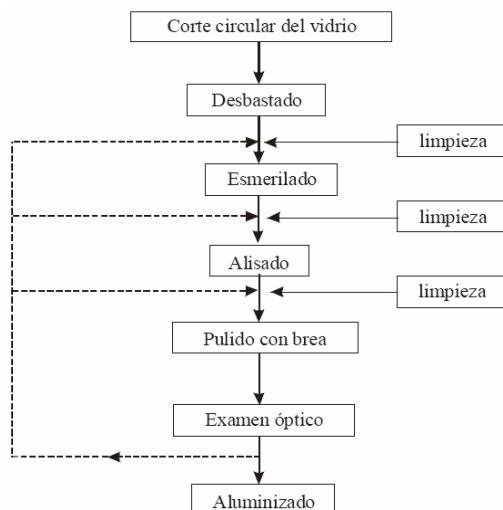


Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento seguido para la construcción del espejo principal. La etapa de desbastado tiene como fin crear la concavidad del vidrio. Las etapas de esmerilado, alisado y pulido con brea, buscan alisar la superficie del vidrio con el fin de volverla apta para el proceso de plateado (o aluminizado). Esta operación es necesaria ya que en el esmerilado la superficie del vidrio se raya por la fricción con el abrasivo y la herramienta.

2.2.1 Desvastado

El proceso de desvastado se realizó siguiendo la siguiente metodología. En primer lugar, el disco de vidrio que se utiliza como herramienta se coloca sobre una mesa firme con un perímetro completamente libre de obstáculos. En segunda medida, sobre la herramienta se vierte un poco de abrasivo # 80 (el más grueso de todos) mezclado con agua. Luego, con el trozo de vidrio que finalmente se convertirá en el espejo principal, se realizan movimientos lineales sobre la herramienta, de tal forma que el rozamiento comience a realizar la acción de desgaste. Este movimiento lineal del espejo sobre la herramienta, debe acompañarse por una rotación de $22,5^\circ$ en sentido antihorario para el espejo, y en dirección horaria para la herramienta. De esta forma, se pueden utilizar secuencias de 10 movimientos lineales, al final de las cuales se realiza la rotación anteriormente descrita, hasta completar una vuelta a la circunferencia. Al finalizar cada ciclo, es necesario observar la distancia focal del espejo. Para ello, se moja la superficie desvastada y se refleja la luz del sol sobre una pared blanca, acercando o retirando el espejo hasta obtener una imagen puntual brillante. La distancia existente entre el espejo y este punto es la distancia focal. Si se observa que después de algunos ciclos de desvastado, la distancia focal es aun muy grande, se deben realizar nuevos ciclos acompañados por mediciones de la distancia focal hasta obtener la deseada. Si por el contrario, durante la medición se observa una distancia focal inferior a la referencia, se deben realizar ciclos de desvastado con el espejo abajo y la herramienta encima hasta lograr la corrección. La labor anteriormente descrita exige suma paciencia y delicadeza, ya que los primeros resultados solo se obtendrán tras varias horas de trabajo. Además, cualquier movimiento brusco puede desprender trozos de vidrio que destruirían el trabajo.

2.2.2 Esmerilado

Una vez creada la concavidad en la superficie, es necesario esmerilarla con el fin de convertirla en apta para el proceso de plateado, ya que la rugosidad creada por la fricción entre el abrasivo #80, la herramienta y el espejo; no permitirán la reflexión de la luz. Para ello se procede con los pasos anteriormente descritos, pero utilizando el abrasivo #120. Después de varios ciclos se observa una mejora en la rugosidad de la superficie. Cuando la superficie no presente evidencias del esmeril #120, se repite el proceso con el #240, y así sucesivamente. En general, se recomienda utilizar abrasivos # 80, 120, 240, 320, 400 y 500.

2.2.3 Pulido

Después del esmerilado, el espejo debe ser pulido para que la superficie cóncava adquiera el brillo de un vidrio normal. Para comenzar con esta operación, se debe transformar la herramienta de la siguiente forma: se vierte brea caliente sobre la superficie desvastada, e inmediatamente se coloca el espejo sobre ella con algo de peso adicional, de tal forma que ejerza presión sobre la brea. Se procede entonces a guardar los elementos para

su enfriamiento, logrando así que la breca tome la forma cóncava del espejo (convexa en este caso, dado que complementa la concavidad del espejo, figura 6).



Figura 6. Herramienta con breca utilizada para el pulido del espejo principal.

Con la herramienta modificada, procedemos a realizar los movimientos descritos en la etapa de desvastado, hasta obtener una superficie cóncava completamente brillante. En este punto el espejo se encuentra listo para la etapa de plateado.

2.2.4 Plateado o aluminizado

Aunque lo más recomendable es depositar una placa de aluminio sobre el vidrio pulido con el fin de obtener el espejo deseado, esta operación se dificulta por la escasez de máquinas de aluminizado al vacío, y el alto precio de este proceso. Una solución alternativa a este problema consiste en aplicar una placa de plata sobre la superficie del espejo. Este proceso es muy económico y se puede realizar en cualquier taller de vidrios; aunque la calidad y resistencia del baño de plata no es igual al del aluminizado; tanto es así, que una vez plateado el vidrio, este no se puede tocar con ningún paño limpiador. La figura 7 muestra el vidrio final construido.



Figura 7. Espejo final construido.

2.3 ESPEJO DIAGONAL O SECUNDARIO

Tal como se observa en la figura 2, además del espejo principal, es necesario un espejo secundario que desvíe el foco hacia el exterior del telescopio. Esta operación es realizada por un espejo plano aluminizado adquirido de una fotocopiadora en desuso (figura 8). Es importante aclarar que el espejo debe ser perfectamente plano para que desvíe todos los rayos de luz con el mismo ángulo de reflexión. Por regla general [4], se debe cumplir que:

$$A_{Diagonal} \leq 8\% A_{C\u00f3ncavo} \quad (7)$$

De acuerdo a la expresión (7), el \u00e1rea del espejo diagonal utilizado en el telescopio es de $A_{Diag}=14,137cm^2$

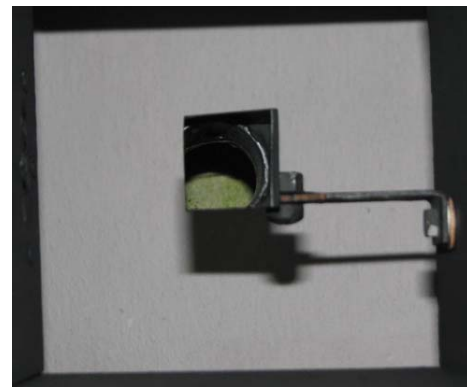


Figura 8. Espejo diagonal utilizado en el proyecto.

2.4 OCULAR

Una vez el foco es desviado hacia la parte lateral exterior del telescopio gracias a la acci\u00f3n del espejo diagonal, se crea una imagen virtual reducida del objeto que se encuentra en observaci\u00f3n. Esta proyecci\u00f3n puede ser ampliada por el *ocular*, cuyo principio de funcionamiento es el mismo de una simple lupa. Generalmente los oculares vienen con distancias focales desde 5mm hasta 60mm o m\u00e1s, de tal forma que la combinaci\u00f3n de distintos oculares permite obtener distintas ampliaciones de la imagen. Para el proyecto se utilizaron 3 oculares de 12.5mm, 25mm y 30mm (figura 9). De ellos, dos fueron adquiridos en tiendas de fotograf\u00eda, y el tercero fue obtenido de unos bin\u00f3culos en desuso.



Figura 9. Oculares utilizados en el proyecto.

2.5 MONTURA

En cuanto al soporte para los telescopios, m\u00e1s conocidos como monturas, se pueden clasificar, seg\u00fan la posici\u00f3n

de sus ejes, en las de tipo azimutal y las de tipo ecuatorial.

Las primeras poseen dos ejes, uno de los cuales mueve al telescopio sobre el horizonte (azimut), y el otro lo hace en elevación con respecto al mismo (altura). Las monturas ecuatoriales están basadas en el movimiento de dos ejes que ubican al telescopio en ascensión recta y declinación. La ventaja de las ecuatoriales sobre las azimutales, consiste en que el seguimiento de los astros en su viaje a través del cielo puede ser realizado ajustando solamente el eje de ascensión recta; mientras que en las azimutales, es necesario ajustar los dos ejes para realizar el seguimiento. Sin embargo, dado el nivel de complejidad y gran tamaño que exige la construcción de la montura ecuatorial, inicialmente se construyó una montura azimutal; aunque para astrofotografía este tipo de montura presenta varias falencias.

3. RESULTADOS

En la figura 10 se muestra el telescopio terminado, ubicado sobre una montura azimutal tipo Dobson.



Figura 10. Telescopio terminado.

Este prototipo desarrollado permite realizar observaciones de una gran cantidad de objetos celestes, desde cuerpos del sistema solar, hasta algunas galaxias. La figura 11, contiene una fotografía representativa lograda gracias a la adaptación de una cámara digital al instrumento óptico.

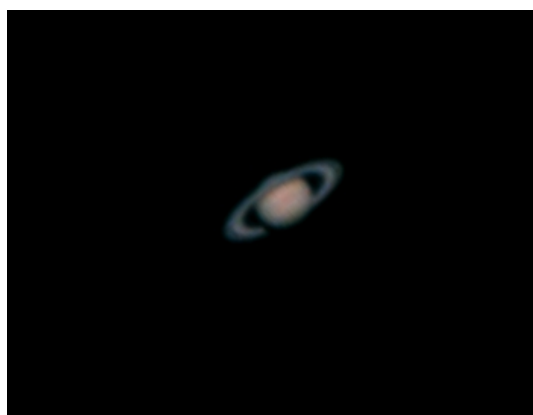


Figura 11. Fotografía del planeta Saturno obtenida con una cámara profesional Canon PowerShot S3IS. El telescopio es de $d=15\text{cm}$, $f=120\text{cm}$, ocular de 12.5mm , 96 aumentos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La gran cantidad de tiempo invertido en el pulido del espejo principal, sin duda fue recompensado con la calidad de las observaciones realizadas. Sin embargo, esto no significa que no se deban realizar algunas mejoras en el futuro, tales como la parabolización de la curva creada, con el fin de eliminar la aberración de esfericidad. Existen máquinas que se pueden construir fácilmente (por ejemplo, las máquinas de Ronchi o de Foucault), utilizadas para detectar que tan parabólica es la superficie tallada; al igual que existen técnicas de corrección de la curva, en caso de que esta se encuentre alejada de la forma deseada. Otro parámetro que aumentaría considerablemente la eficiencia del telescopio, consiste en la creación de una montura ecuatorial motorizada, que permita realizar el seguimiento de los astros durante las largas exposiciones que exige la astrofotografía del espacio profundo. Un prototipo inicial para lograr este dispositivo electrónico podría contener un circuito que controle el movimiento de motores paso a paso adaptados a los ejes de la montura [5].

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Karttunen, M. Poutanen, K. J. Donner, *Fundamental Astronomy*, Tercera Edición, Springer-Verlag Berlin, 1996.
- [2] A. E. Roy, D. Clarke, *Astronomy: Principles and Practice*, Cuarta Edición, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, 2001.
- [3] Jean Texereau, *El Telescopio del Aficionado*, Editorial Eudeba, 1961.
- [4] J. D. Twyman, *Optical Glassworking*, Hilger and Watts Limited, 1955.
- [5] Edwin A. Quintero, Hoover Orozco, Hugo Gallego, *Control de Posición para un Telescopio con Motores Paso a Paso*, Revista Scientia et Technica, Año XIII, N° 39, Septiembre de 2008, Universidad Tecnológica de Pereira.