

# Design and Manufacture of Small Newtonian Telescope for Lunar Observation

## Diseño y Manufactura de un Telescopio Newtoniano Pequeño para Observación Lunar

F. Gonzales\*, G. Baldwin, S. Romero, W. Tupia, G. Gálvez de la Puente

*Grupo de Óptica Aplicada, Departamento de Ciencias, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú*

(\*) E-mail: [fgonzales@pucp.edu.pe](mailto:fgonzales@pucp.edu.pe)

Received: 01/12/2017

Accepted: 02/03/2018

DOI: 10.7149/OPA.51.1.49028

### ABSTRACT:

The content of this work is about the design and manufacture of a small Newtonian telescope, showing the development of optical technologies in the Physics Section of the Pontifical Catholic University of Peru (PUCP). This includes optical design and simulation, precision optical manufacturing, optical testing, thin film optical technology, opto-mechanical design and opto-mechanical manufacturing.

**Key words:** optical design; precision optics manufacture; optical testing; optical thin films

### RESUMEN:

El contenido de este trabajo trata sobre el diseño y la manufactura de un telescopio newtoniano pequeño, donde se muestra el desarrollo de la tecnología óptica en la Sección de Física de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Esto incluye diseño y simulación óptica, manufactura óptica de precisión, pruebas ópticas, tecnología de películas delgadas ópticas, diseño opto-mecánico y la manufactura opto-mecánica.

**Palabras clave:** diseño óptico; manufactura óptica de precisión; pruebas ópticas; películas delgadas

### REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] G. Baldwin, M. Asmad, S. Romero, F. Gonzales, G. Gálvez, R. Sánchez, D. Córdova, Advances in optical technologies at Pontificia Universidad Católica del Perú, Proc. SPIE **8001** (2011).
- [2] H. Rutten and M. Van Venrooij, Telescope Optics, Willmann Bell, Inc. pp. 45-51 (1999)
- [3] W. Smith, Modern Optical Engineering, 4th Ed. SPIE Press, Mc Graw Hill (2008)
- [4] Hank H. Karow, Fabrication Methods for Precision Optics, Wiley (1993)
- [5] Jean Texereau, [How to make a telescope], Wilmann-Bell, Inc. United States of America (1957)
- [6] S. Romero, F. Gonzales, G. Baldwin. First Works on Multi-Blocking Precision Optics Manufacture in Peru. Case of Elliptical Plane Mirrors. En 8th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (pp. 265-266). San Petersburgo: The Japan Society of Applied Physics. (2012)
- [7] G. Gálvez de la Puente, G. Baldwin and F. Villa, Physical effects of evaporated materials in thin films and emission patterns, Proc. SPIE **4419**, 740-743, 2001.
- [8] P.R. Yoder Jr. Mounting Optics in Optical Instruments, 2nd Ed. SPIE, Bellingham (2008)

## 1. Introducción

El diseño y la manufactura tanto óptica como mecánica de este telescopio newtoniano son señal de los avances en desarrollo tecnológico que se viene logrando en los laboratorios y talleres de la PUCP. Muestra de eso es la fabricación completa del primer prototipo del telescopio newtoniano para observación lunar.

En países en desarrollo, como es el Perú, el haber alcanzado un dominio básico de alta tecnología es fundamental para creer en el comienzo de un desarrollo industrial real y saludable.

Los laboratorios y talleres que se han implementado en la PUCP, nos permiten desarrollarnos en las siguientes áreas [1]: diseño y simulación óptica, fabricación óptica de precisión, pruebas ópticas, tecnología de películas delgadas ópticas, diseño y manufactura opto-mecánica.

## 2. Desarrollo del Telescopio Newtoniano

### 2.a. Diseño Óptico

El diseño del telescopio Newtoniano para observación lunar y planetaria [2], está compuesto de dos sistemas ópticos que son: el objetivo del tipo newtoniano y el ocular del tipo Ramsden.

Las simulaciones de los sistemas ópticos que conforman el telescopio se han realizado por separado con el software OSLO EDU, debido a que solo se puede trabajar con un máximo de 10 superficies con este software.

#### El objetivo

El diseño del objetivo se basa en un sistema óptico newtoniano, que consiste de un espejo primario esférico y un espejo secundario plano. El diseño contempla un espejo primario esférico, debido a que la dimensión de la apertura se considera pequeña (ver Tabla 1), por lo tal, la diferencia entre las sagitas de una superficie esférica y una parabólica para las dimensiones dadas es de 85,5 nm, motivo por el cual se considera una superficie esférica [2]. La Tabla 1 muestra los parámetros de diseño establecidos para el objetivo del telescopio.

TABLA 1. Parámetros de diseño del objetivo newtoniano

Parámetro	Valor
Campo de Visión	1°
f/número	9,55
Radio espejo Primario	1455 mm
Diámetro espejo Primario	76,2 mm
Diámetro proyectado del espejo secundario	25 mm

La Figura 1 muestra el esquema de la simulación con los elementos del objetivo. Se observa que el espejo plano es inclinado 45° con respecto a la horizontal para formar la imagen fuera del objetivo.

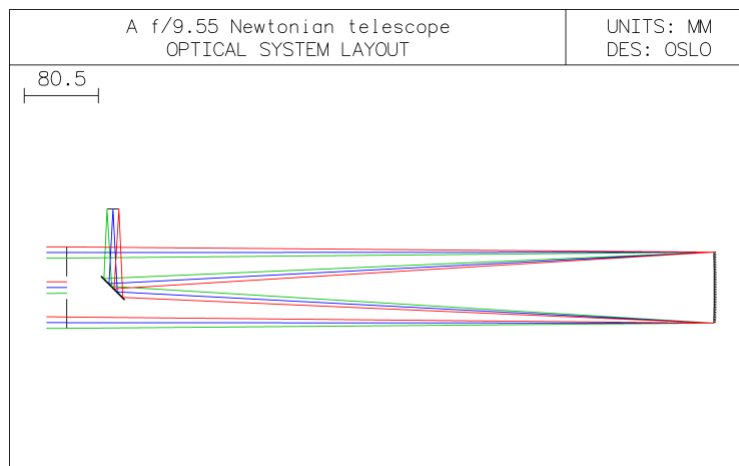


Fig.1. Objetivo del telescopio Newtoniano conformado por un espejo esférico y un espejo plano.

En la Figura 2 muestra el tamaño de la mancha en eje y fuera de eje en comparación con el límite de difracción (disco de Airy) de 6,85  $\mu\text{m}$ .

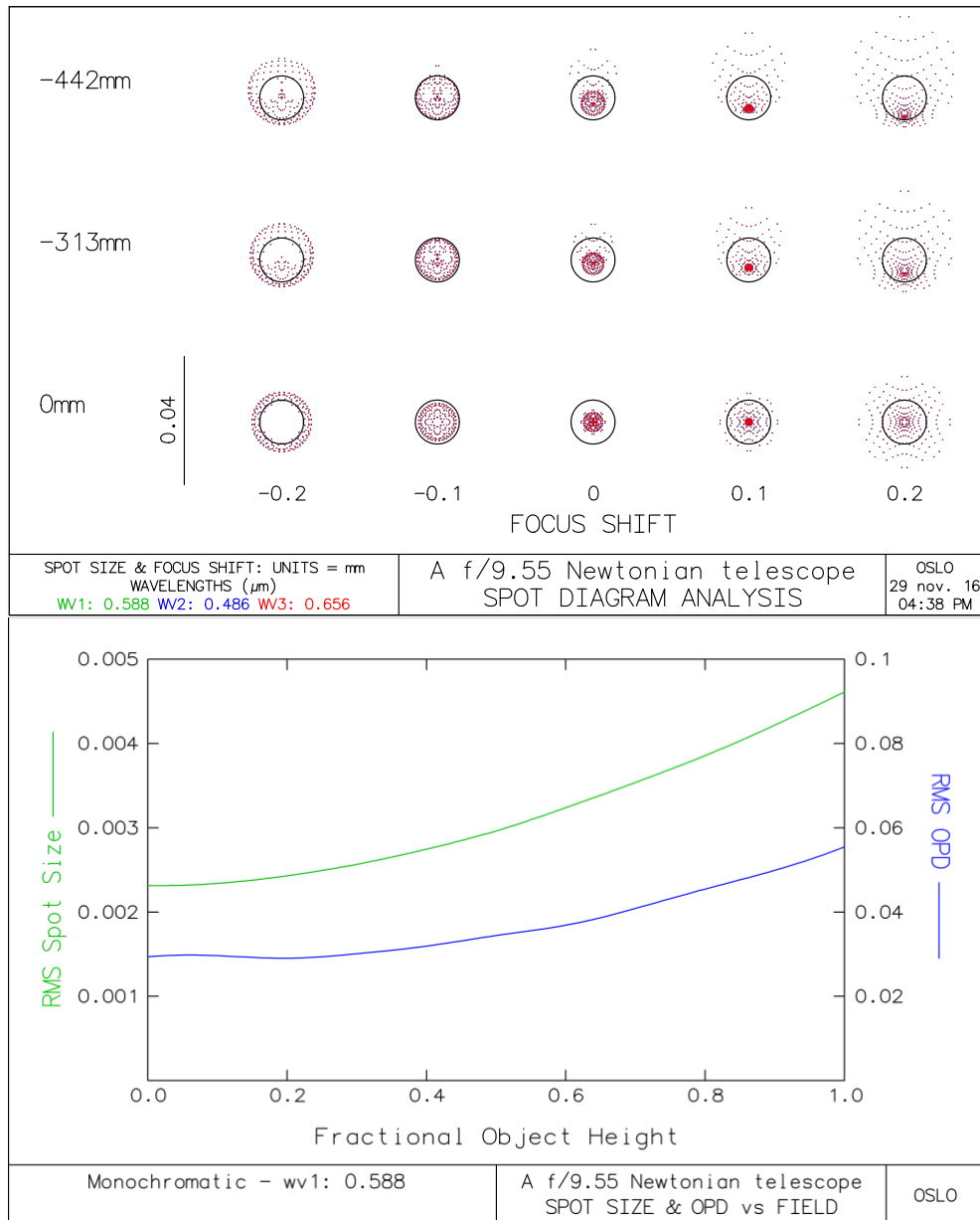


Fig.2. Análisis de diagrama de mancha (superior) y RMS Tamaño de mancha vs. Fracción altura de objeto (inferior).

### El ocular

El diseño del ocular se basa en el sistema óptico Ramsden, que consiste de dos elementos plano-convexos [3]. La Tabla 2 muestra los parámetros de diseño establecidos para el ocular del telescopio.

TABLA 2. Parámetros de diseño del ocular Ramsden

Parámetro	Valor
Campo de Visión	28°
f/número	8,47
Pupila de entrada	2,75 mm
Longitud focal	25,4 mm

La Figura 3 muestra el esquema de la simulación con los elementos del ocular. El diseño de las lentes plano-convexas están hechas con vidrio BK7 y ambas son de igual longitud focal, esto nos indica que los radios de curvatura de ambas lentes son iguales. La ventaja de que ambas lentes tengan los mismos radios de curvatura nos sirve para simplificar los procesos de manufactura, es decir, se puede fabricar varias lentes al mismo tiempo mediante la técnica de multibloqueo [4].

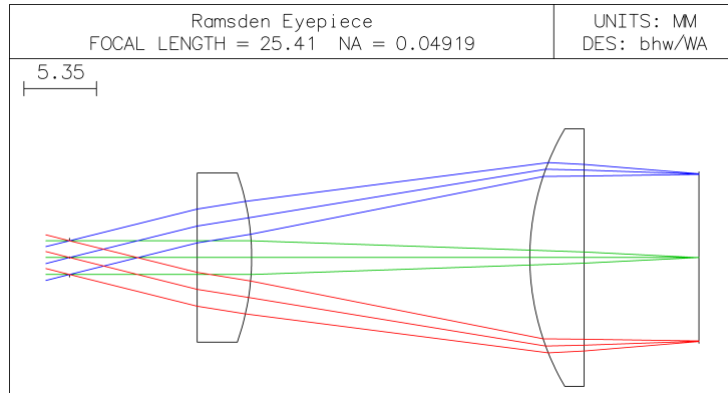


Fig.3. Esquema del ocular tipo Ramsden conformados por dos lentes planoconvexas.

En la Figura 4 se muestra el tamaño de la mancha en eje y fuera de eje en comparación con el límite de difracción (disco de Airy) de 6,9  $\mu\text{m}$  para el ocular.

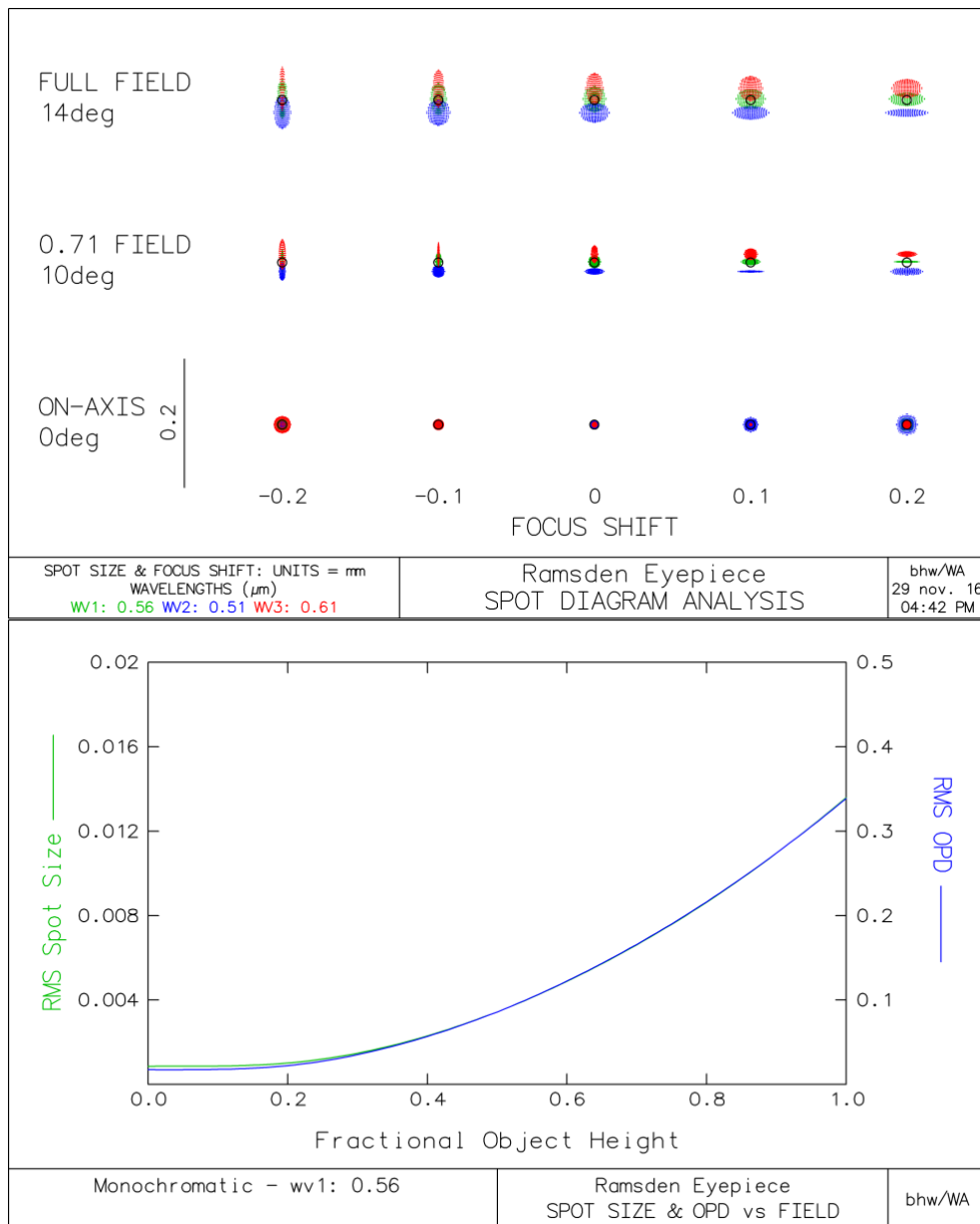


Fig.4. Análisis de diagrama de mancha (superior) y RMS Tamaño de mancha vs. Fracción altura de objeto (inferior).

La Tabla 3 muestra los valores de radio de curvatura, espesor, diámetro y tipo de vidrio del diseño de los elementos que conforman el ocular.

TABLA 3. Datos del diseño de los elementos del ocular

Superficies	Radio (mm)	Espesor (mm)	Radio de abertura (mm)	Vidrio
Diafragma de apertura	0,00	9,40	1,50	Aire
2	0,00	4,00	6,00	BK7
3	-18,95	20,50	6,00	Aire
4	18,95	4,00	8,50	BK7
5	0,00	8,44	8,50	Aire
Plano imagen	0,00	0,00	6,82	Aire

## 2.b. Manufactura de óptica de precisión

Los procesos de manufactura para la fabricación de los elementos ópticos que conforman el telescopio han sido desarrollados íntegramente en el Taller de Óptica de la PUCP, siendo los procesos los siguientes: corte de vidrio, generado de curvatura, esmerilado y pulido.



Fig.5. Sistema de corte de vidrio (izquierda) y corte de vidrio del espejo secundario (derecha).

### Corte de vidrio

El proceso de corte de vidrio se hace posible debido a la implementación un sistema de corte circular. Este sistema está compuesto por un taladro de columna (BARBERO/CBM 19/23), una mesa mecánica de desplazamiento XY (HAMÜL/K1), y dos recipientes de metal/plástico que conforman el sistema de lubricación y refrigeración, como se muestra a la izquierda de la Figura 5.

El corte del espejo secundario plano ha sido de forma elíptica y se ha utilizado vidrio común. El perfil elíptico se obtuvo pegando el vidrio sobre una base de  $45^\circ$  [5] y utilizando una herramienta de corte de 25 mm de diámetro, ver a la derecha de la figura 5.

Para los elementos que conforman el ocular, se cortó vidrio BK7 con herramientas de 12,5 mm (izquierda de la Figura 6) y 19 mm de diámetro. De la misma forma se cortó vidrio común, conocido también como vidrio de venta. Este vidrio sirve para generar las herramientas de contra que serán útiles en el proceso de esmerilado. Y con respecto al espejo primario, se consideró comprar vidrio pyrex de diámetro 76,2 mm y espesor de 25,4 mm, como se muestra a la derecha de Figura 6.



Fig.6. Cortes de vidrio BK7 para lentes del ocular (izquierda) y vidrio pyrex para espejo primario (derecha).

### Generado de Curvatura

Proceso en el cual las superficies adquieren forma de esfera ya sean cóncavas, convexas o planas; los radios de curvatura varían según los valores el diseño. El proceso para generar los radios de curvatura es realizado usando la máquina generadora de curvaturas SIDAI/CG-2.0. Debemos considerar que un mal generado puede ocasionarnos problemas en los procesos siguientes, incluso no se podría obtener la tolerancia óptica deseada. La Figura 7 muestra el proceso de generado de curvatura sobre el vidrio pyrex que será el espejo primario (izquierda) y sobre el vidrio BK7 para las lentes (derecha).



Fig.7. Generado de superficie cóncava para espejo primario (izquierda) y superficies convexas para las lentes (derecha).

La Tabla 4 hace un resumen de los valores de los radios de curvatura generados para la superficie del espejo primario, secundario y radios de superficie para las lentes del ocular.

TABLA 4. Radios de curvatura iniciales para los elementos del telescopio

Vidrio	Diámetro (mm)	Radio de generado (mm)	Espesor (mm)
Espejo Primario			
Pyrex	76,2	~ 1650	25
Espejo secundario			
Ventana	Elipse	Plano	10
Ocular			
BK7	12,5	19,1	5
	12,5	Plano	
BK7	19,0	19,1	5
	19,0	Plano	

### Esmerilado

Una vez que se le ha dado forma y tamaño a la componente óptica iniciamos con el proceso de esmerilado de las superficies. La técnica tradicional utilizada consiste en utilizar polvos abrasivos de óxido de aluminio (alumina) de diferentes tamaños de grano, pasando de abrasivos gruesos (25  $\mu\text{m}$ ) a finos (15 y 5  $\mu\text{m}$ ). Para ello se emplean las máquinas esmeriladoras las cuales tienen un eje para colocar la lente y hacerla girar y un brazo superior para mover la parte auxiliar que esmerila la superficie. El Taller de Óptica de la PUCP cuenta con una máquina de esmerilado y pulido de radios de curvatura grandes, de procedencia mexicana,

específicamente del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) y máquinas americanas de la marca LARSEN modelo RP-202, para radio de curvatura pequeños.

EL 67% de las superficies de los elementos que conforman el telescopio han sido fabricadas mediante la técnica de multibloqueo, esta técnica nos permite trabajar la superficie de varios elementos a la vez [4,6]. Solo las superficies de 19,1 mm de radio de generado (radios pequeños) fueron trabajadas individualmente.

La Figura 8 muestra el proceso de esmerilado para las lentes del ocular (izquierda) y el multibloqueo de los vidrios pyrex para los espejos primarios (derecha).

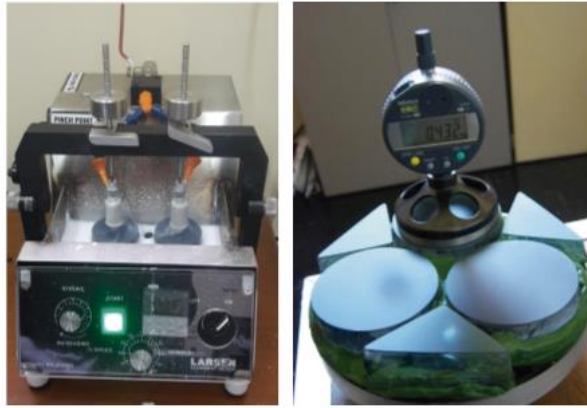


Fig.8. Esmerilado de superficies convexas de las lentes de radio pequeño (izquierda) y multibloqueo de espejos primarios (derecha).

Durante el proceso de esmerilado se debe controlar las evaluaciones del radio de curvatura y el espesor, por lo tal, normalmente se utilizan un esferómetro para medir la sagita de la curvatura (derecha de la Figura 8) y un medidor de espesores que está compuesto por un reloj indicador analógico, como se muestra en la Figura 9.



Fig.9. Sistema implementado para medir espesor de elementos ópticos (izquierda) y medición de espesor de lente (derecha).

### Pulido

En el proceso de pulido se logra dar brillo y se termina de moldear la forma esférica o plana de la superficie. En este proceso se utiliza como abrasivo al óxido de circonio (Zirox – K).

Las herramientas que se utilizan para el proceso de pulido se fabrican en base a brea, material que se prepara previamente para amoldarse a la superficie que se está trabajando.

Las máquinas que se usan en este proceso son del mismo tipo que las máquinas para el esmerilado (ver Figura 10).

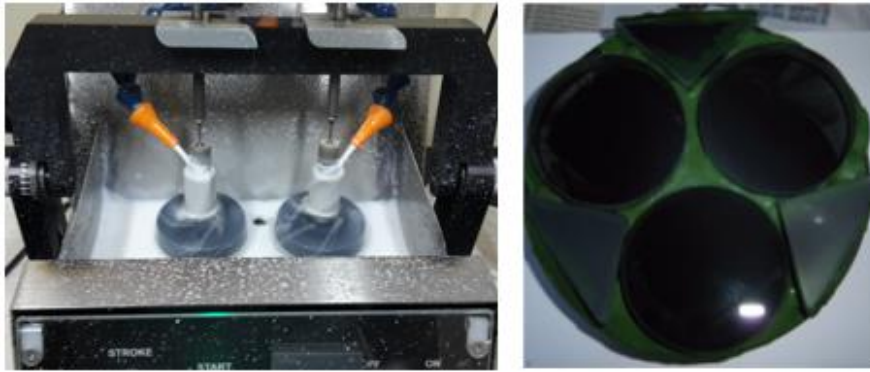


Fig.10. Pulido de superficies convexas de lentes (izquierda) y abrillantamiento debido al pulido de los espejos primarios (derecha).

### 2.c. Pruebas ópticas

A medida que las superficies se van puliendo, en paralelo se evalúa la forma de la superficie que se está trabajando, esto se realiza aplicando alguna prueba óptica (Newton, Ronchi o Fizeau), este tipo de prueba tiene la ventaja de no tener contacto con la superficie.

Diferentes pruebas ópticas han sido aplicadas para evaluar las superficies de los distintos elementos que conforman el telescopio. Además de las pruebas de Newton y Ronchi, los espejos y las lentes han sido analizados con un interferómetro de Fizeau, en el Centro de Investigaciones Ópticas (CIO). En la Tabla 5 se hace un resumen de los radios de curvatura, espesores, diámetros finales de las superficies y el error de frente de onda de cada superficie.

TABLA 5. Radios de curvatura, espesores y diámetros finales de los elementos del telescopio

Vidrio	Diámetro (mm)	Radio de curvatura generado (mm)	Espesor (mm)	Prueba óptica	Error de forma
Espejo Primario					
Pyrex	76,2	1405	24,8	Ronchi	$\lambda/9$
Espejo Secundario					
Vidrio común		Plano	10	Newton	$\lambda/2$
Ocular					
BK7	12,5	18,3	4,3	Interferómetro de Fizeau	$\lambda/8$
	12,5	Plano			$\lambda/5$
BK7	19,0	18,3	4,3		$\lambda/8$
	19,0	Plano			$\lambda/5$

La Figura 11 muestra las pruebas de Newton, Ronchi y Fizeau, aplicadas a los diferentes elementos que conforman el telescopio, estas pruebas han sido utilizadas para monitorear el trabajo de las superficies durante el proceso de pulido.

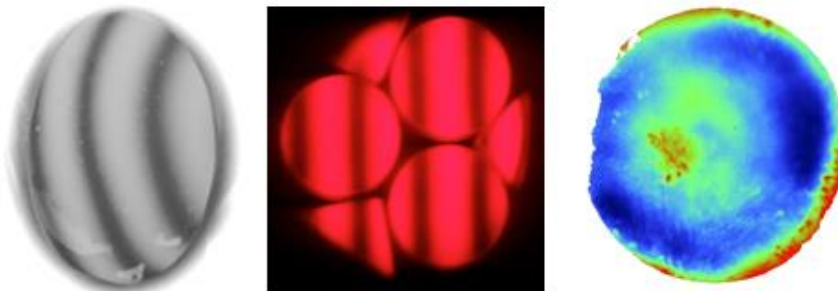


Fig.11. Prueba de Newton y Ronchi para evaluar espejos primarios y secundarios (izquierda y centro) e interferómetro de Fizeau para evaluar superficies de las lentes.



## 2.d. Tecnología de películas delgadas ópticas

En el Laboratorio de Películas Delgadas de la PUCP, los revestimientos ópticos se fabrican por evaporación térmica a alto vacío (Figura 12). Es posible producir películas delgadas por evaporación simple o reactiva. El espesor de las películas delgadas metálicas o dieléctricas se controla mediante un sistema de monitoreo óptico. Los sustratos se limpian por plasma en gas argón [7].



Fig.12. Sistema de evaporación de películas delgadas en elementos ópticos.

Los elementos ópticos que conforman el telescopio han sido recubiertos con película delgada según su desempeño. Los espejos planos y esféricos han sido recubiertos con película delgada metálica reflejante (aluminio), mientras que las lentes han sido recubiertas con película delgada dieléctrica antirreflejante (fluoruro de magnesio) tal y como se muestra en la Figura 13



Fig.13. Espejos recubiertos con película delgada metálica reflejante (arriba) y lentes recubiertas con película dieléctrica antirreflejante (abajo).

## 2.e. Diseño y manufactura mecánica

El telescopio newtoniano (ver figura 14) tiene cinco componentes con funciones específicas: el cuerpo tubular, el espejo primario, el espejo secundario, el ocular y las abrazaderas de soporte (ver figura 15).

Para mantener la óptica alineada con una precisión adecuada, estabilidad y con la posibilidad de una regulación precisa, se tuvieron en cuenta las principales recomendaciones encontradas en el estado del arte.

El material seleccionado en la mayoría de las piezas es de acero inoxidable AISI 304 para evitar efectos negativos de corrosión y deformaciones, características que no tienen los polímeros o materiales similares. Durante el desarrollo del diseño mecánico para el telescopio newtoniano, la prioridad para decidir las formas constructivas de cada uno de los componentes fue tener cuidado con la óptica. Por ejemplo, en el diseño de las piezas que forman el ocular (véase la figura 15), la lente de contacto-metal es casi un contacto de un solo punto. Un chaflán es mejor para un contacto tangencial con la lente que un borde afilado porque este último puede dañar la óptica [8]. Un borde de filete es la mejor alternativa, pero un chaflán tiene una fabricación más fácil y más económica.

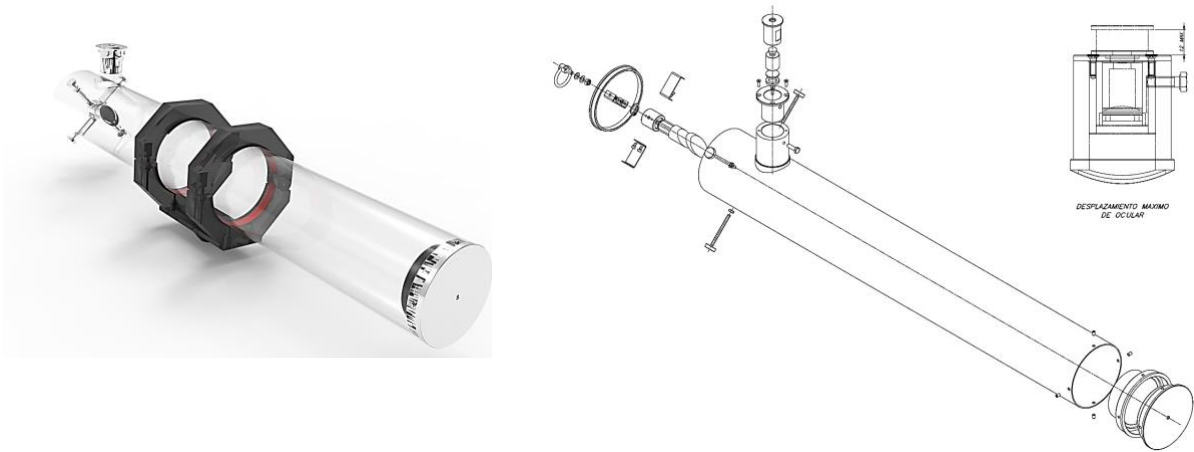


Fig.14. Diseño mecánico del telescopio newtoniano.

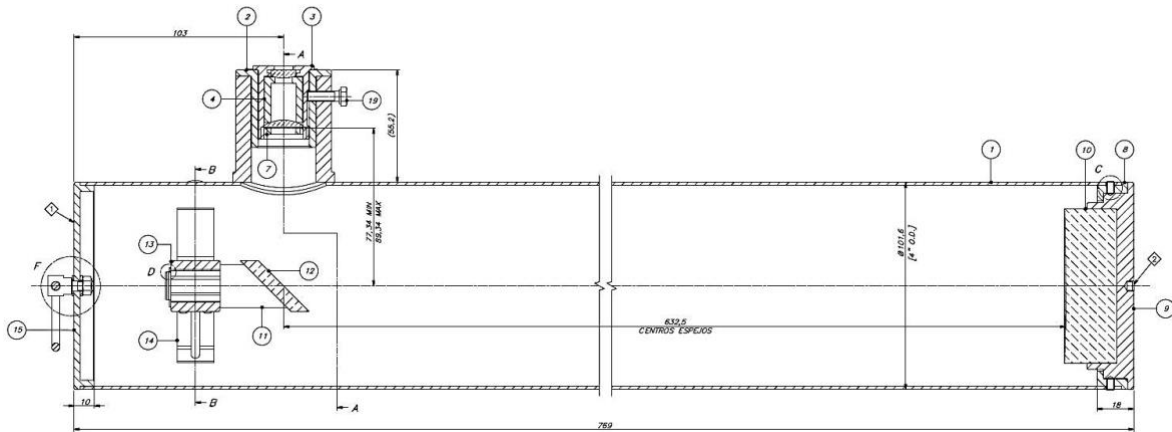


Fig.15. Componentes del telescopio newtoniano

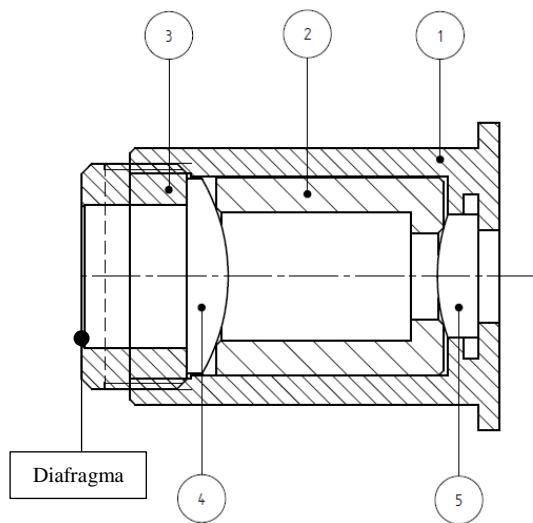


Fig.15. Ocular del telescopio: partes constitutivas.

En el ocular, la construcción concéntrica ayuda a mantener alineados los ejes, inclusive durante el montaje. Las partes del ocular son el cilindro exterior (1), el cilindro interno (2), la tuerca de cierre con el diafragma de campo (3), la lente de  $\varnothing 19$  mm (4) y la lente de  $\varnothing 12$  mm (5). Las piezas metálicas están hechas de acero inoxidable AISI 304, la figura 16 muestra los elementos separados.



Fig. 16. Ocular del telescopio: fotografía de las partes constitutivas separadas.

En el cuerpo tubular se realizó la soldadura de un cuello corto perpendicular para colocar el ocular y pueda deslizarse hasta 12 mm con el fin de enfocar la imagen.

El espejo primario está incrustado y fijado en la tapa (9), como se muestra en la figura 17 (izquierda). Hay una tapa falsa (8) que ayuda a aumentar el diámetro antes del montaje en el cuerpo tubular y centra al espejo.

El espejo secundario está soportado con una disposición de cuatro tornillos de regulación (derecha de la figura 17) para centrarlo con el espejo primario. Adicionalmente, es posible deslizar axialmente la disposición de espejo secundario para alinear el eje de este con el ocular.

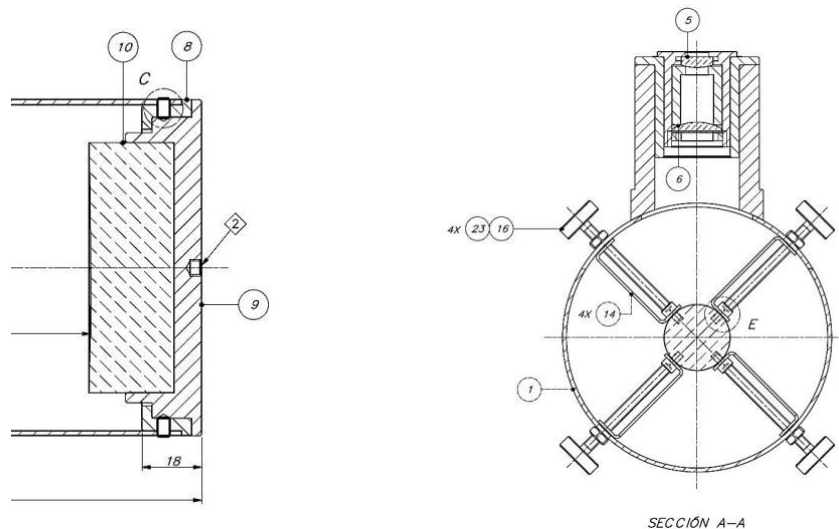


Fig. 17. Montaje del espejo primario (izquierda) y espejo secundario y los tornillos de regulación (derecha)

Finalmente, para el soporte del telescopio, se diseñó una abrazadera (ver figura 18). Fue hecho del polímero del ABS en una impresora 3D para su geometría compleja.

El soporte del telescopio fue construido completamente en el Laboratorio de Manufactura de la Universidad Católica del Perú. Las máquinas CNC fueron seleccionadas de acuerdo a los requerimientos de tolerancia de cada una de las partes. Se hicieron herramientas especiales para obtener la geometría particular y sus pequeños detalles.



Fig. 18. Prototipo de telescopio newtoniano (izquierda) e imagen de la luna observada con el telescopio (derecha)

### 3. Conclusiones

Con la fabricación del primer prototipo del telescopio newtoniano, queda demostrado el avance que se viene logrando en los laboratorios y talleres de óptica aplicada de PUCP. El logro obtenido nos motiva a seguir el camino de la investigación y poder desarrollar prototipos de nuevos instrumentos ópticos.

En el presente, vivimos en un mundo lleno de instrumentos ópticos, pero al ser la óptica de alta precisión y los servicios técnicos tan especializados, son pocas las opciones que se encuentran en el mercado para poder desarrollar, reparar y/o dar mantenimiento a muchos de estos instrumentos, por lo tal, vemos en este rubro una perspectiva empresarial para un futuro cercano.

### Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección de Gestión de la Investigación (DGI) de la PUCP por su constante apoyo y hacer posible la fabricación del primer prototipo del telescopio.

Agradecemos al Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) por su apoyo incondicional en la capacitación de los miembros del grupo de Óptica Aplicada de la PUCP en los temas de manufactura óptica.