

## Construcción de un telescopio refractor de bajo costo: una propuesta didáctica para la enseñanza de la óptica

### *Construction of a Low-Cost Refracting Telescope: a didactic proposal for teaching optics*

 Jairo Guerrero-Gavilanez <sup>1</sup>,  Erick Celorio-Rodríguez <sup>2</sup>,  Johan Torres-Rojas <sup>3</sup>,  Jorge Guachamín-Aconda <sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía. Quito, Ecuador. Correo: [jsguerrerog1@uce.edu.ec](mailto:jsguerrerog1@uce.edu.ec)

<sup>2</sup>Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía. Quito, Ecuador. Correo: [escelorio@uce.edu.ec](mailto:escelorio@uce.edu.ec)

<sup>3</sup>Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía. Quito, Ecuador. Correo: [jftorresr1@uce.edu.ec](mailto:jftorresr1@uce.edu.ec)

<sup>4</sup>Universidad Central del Ecuador, Centro de Física. Quito, Ecuador. Correo: [joguachamin@uce.edu.ec](mailto:joguachamin@uce.edu.ec)

Recibido 15 de febrero de 2026; aceptado 21 de marzo de 2026; publicado 06 de abril de 2026

### Resumen

El presente artículo describe el diseño, construcción y caracterización experimental de un prototipo de telescopio refractor tipo kepleriano, desarrollado como una propuesta para la enseñanza de la óptica geométrica. El sistema óptico se construyó con un lente objetivo convergente de 75 mm de diámetro y distancia focal aproximada de 540 mm, junto con un ocular compuesto por cuatro lentes convergentes con distancia focal efectiva cercana a 30 mm. El prototipo se ensambló utilizando materiales accesibles, principalmente tubos de polivinilcloruro (PVC), incorporando un mecanismo de enfoque deslizante y un acoplador para captura digital mediante cámara web. A partir de pruebas de observación terrestre y lunar se calibraron rangos de enfoque entre 2 m e infinito, y se verificó una magnificación aproximada de 18×, coherente con el modelo teórico de lentes delgadas. Las observaciones permitieron identificar aberraciones cromáticas propias del uso de lentes simples, así como limitaciones en la captura digital a distancias superiores a 40 m. Se concluye que es posible construir un telescopio funcional de bajo costo (52,00 USD) con potencial para ser utilizado como recurso en la enseñanza experimental de la óptica y la astronomía.

**Palabras clave:** Telescopio kepleriano; óptica geométrica; recurso didáctico; lentes convergentes; bajo costo; educación en física.

### Abstract

This article describes the design, construction, and experimental characterization of a Keplerian refracting telescope prototype, developed as a proposal for teaching geometric optics. The optical system was built with a 75 mm diameter converging objective lens with an approximate focal length of 540 mm, together with an eyepiece composed of four converging lenses with an effective focal length close to 30 mm. The prototype was assembled using accessible materials, mainly polyvinyl chloride (PVC) pipes, incorporating a sliding focus mechanism and an adapter for digital capture via a webcam. From terrestrial and lunar observation tests, focus ranges between 2 m and infinity were calibrated, and an approximate magnification of 18× was verified, consistent with the theoretical thin lens model. The observations revealed chromatic aberrations inherent to the use of simple lenses, as well as limitations in digital capture at distances beyond 40 m. It is concluded that it is possible to build a functional, low-cost telescope (USD 52.00) with the potential to be used as a resource in the experimental teaching of optics and astronomy evident.

**Keywords:** Keplerian telescope; geometric optics; didactic resource; converging lenses; low-cost; physics education.

\* Autor de correspondencia: [joguachamin@uce.edu.ec](mailto:joguachamin@uce.edu.ec)





## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha estado históricamente vinculado a la creación y perfeccionamiento de instrumentos que permiten ampliar las capacidades sensoriales del ser humano. En este contexto, los instrumentos ópticos, desde dispositivos simples como la lupa hasta instrumentos complejos como los telescopios espaciales, han desempeñado un papel fundamental al permitir la observación y comprensión de fenómenos naturales, tanto a escala microscópica como astronómica. Desde el punto de vista educativo, estos instrumentos constituyen recursos de alto valor didáctico, ya que permiten vincular la teoría con la experimentación directa, transformando conceptos abstractos en experiencias observables y facilitando así un aprendizaje significativo.

A pesar de la importancia de estos instrumentos, la observación de objetos lejanos ha representado históricamente una limitación para el ser humano debido a las capacidades restringidas del sistema visual. Si bien existen telescopios comerciales de alto rendimiento, su costo elevado y su limitada disponibilidad dificultan su acceso en contextos educativos, especialmente en instituciones con recursos económicos restringidos. Esto, en consecuencia, disminuye las oportunidades de que los estudiantes interactúen directamente con este tipo de instrumentos, lo que limita el aprendizaje experimental y el desarrollo de competencias científicas.

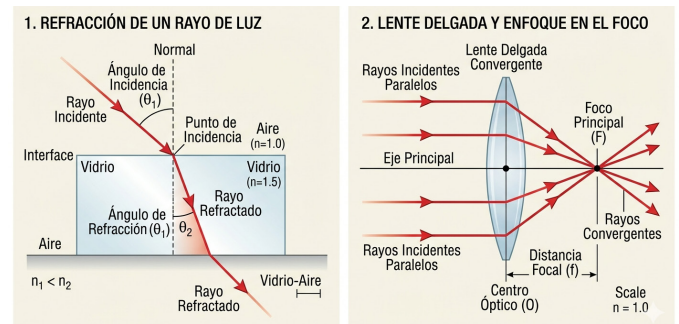
En el marco de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Matemática y Física, surge la necesidad de abordar esta limitación mediante el diseño de soluciones prácticas y accesibles. Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo aplicar los principios de la óptica geométrica para diseñar y construir un prototipo funcional de telescopio astronómico de tipo kepleriano, empleando un sistema de lentes convergentes y materiales de bajo costo, verificando su funcionamiento óptico mediante la experimentación y la teoría de lentes delgadas, de modo que pueda ser utilizado con

finés educativos y demostrativos, facilitando la comprensión de principios ópticos de manera práctica.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Refracción de la luz

El funcionamiento de los instrumentos ópticos se sustenta en los principios de la óptica geométrica, particularmente en el fenómeno de la refracción. La *refracción de la luz* se define como el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz al pasar de un material a otro, como del aire al vidrio, tal como se ilustra en la Figura 1 (izquierda). Al incidir sobre la superficie del vidrio con cierto ángulo, el rayo se desvía acercándose a la normal (línea perpendicular a la superficie). Este fenómeno, responsable de que las lentes puedan enfocar la luz (Figura 1 derecha), ocurre porque la luz se desplaza más lentamente dentro del vidrio que en el aire.



**Figura 1:** A la izquierda se muestra un rayo de luz incidente que cambia de dirección al pasar del aire al vidrio, fenómeno óptico denominado refracción de la luz. A la derecha, se aplica este mismo principio de refracción a un objeto diseñado específicamente: la lente convergente (Fuente: Imagen generada por IA, Gemini.)

En este proceso, el aire tiene un índice de refracción  $n_1$  (cercano a 1), mientras que el vidrio tiene un índice de refracción  $n_2$  (mayor que 1). La relación entre estos índices y los ángulos del rayo incidente y refractado está dada por la **Ley de Snell** (Giancoli, 2006), relación matemática que se expresa mediante la ecuación (1)

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2 \quad (1)$$

Donde:



- $n$ : representa el índice de refracción de cada medio.
- $\theta$ : los ángulos de incidencia y refracción.

El **índice de refracción** ( $n$ ) es una propiedad intrínseca de cada material que cuantifica la resistencia óptica que este ofrece al paso de la luz (Young & Freedman, 2013), definiéndose mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

Donde:

- $n$ : Es el índice de refracción del medio.
- $c$ : Es la velocidad de la luz en el vacío.
- $v$ : Es la velocidad de la luz en un medio material, siempre menor que  $c$ .

## 2.2. Lentes delgadas

Sobre la base de estos principios se diseñan las **lentes convergentes**, también denominadas positivas, las cuales se caracterizan geoméricamente por presentar un espesor mayor en el centro que en los bordes. Su propiedad funcional más relevante es la capacidad para hacer converger los rayos refractados en un punto común denominado foco principal, tal como se ilustra en la Figura 1 (derecha) (Tipler & Mosca, 2010, p. 1045).

En esencia, una lente desvía los rayos de luz de tal forma que estos forman una imagen de un objeto. Cuando los rayos se juntan, se forma una *imagen real* que puede verse en una pantalla; en cambio, si los desvía, forma una *imagen virtual* que solo puede verse al mirar a través de la lente, como ocurre con una lupa (véase Figura 2).

El tipo de imagen y el lugar donde se forma puede determinarse mediante la **ecuación de las lentes** delgadas, la cual relaciona la distancia focal de la lente con las distancias del objeto y la imagen, y se expresa como:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (3)$$

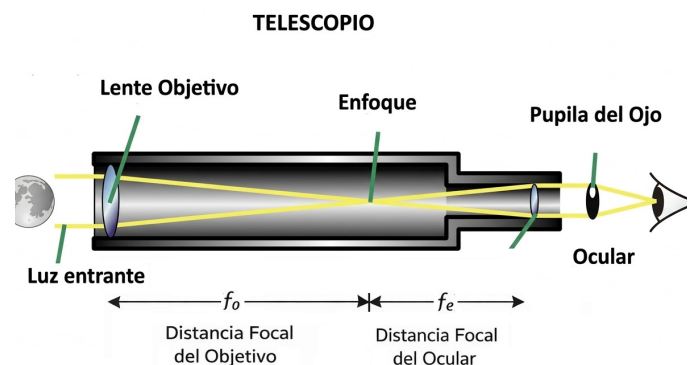
Donde:

- $f$ : Distancia focal de la lente.
- $s$ : Distancia del objeto a la lente.
- $s'$ : Distancia de la lente a la imagen.

Esta ecuación aplica a las lentes convergentes, siempre que se cumpla la aproximación de lente delgada, es decir, cuando el espesor de la lente es mucho menor que su radio de curvatura y que su distancia focal (Serway & Jewett, 2009).

## 2.3. Telescopio refractor

Un telescopio refractor es un instrumento óptico que utiliza lentes para captar la luz de objetos lejanos y formar una imagen ampliada, funcionando gracias al fenómeno de la refracción. Tal como se observa en la Figura 2, el telescopio está compuesto por dos elementos principales. El primero es el lente objetivo, ubicado en la parte frontal del instrumento, cuya función es recoger la luz proveniente de objetos distantes y refractarla hacia el punto focal, formando una imagen real e invertida (Serway & Jewett, 2009; Young & Freedman, 2013). El segundo es el ocular, situado en el extremo posterior, el cual toma esa imagen real formada en el foco y la magnifica, permitiendo que el ojo del observador la perciba como una imagen virtual más grande y brillante (Tipler & Mosca, 2010). De este modo, el objetivo se encarga de capturar y enfocar la luz, mientras que el ocular actúa como una lupa para ampliar los detalles que a simple vista resultarían imperceptibles.



**Figura 2:** Funcionamiento de un telescopio refractor: el lente objetivo forma una imagen real e invertida de un objeto lejano en el plano focal, la cual es ampliada por el ocular para producir una imagen virtual observable por el ojo del observador (Imagen generada por IA, Gemini).



Se dice que un telescopio opera en condición afocal cuando los rayos de luz que ingresan paralelos al objetivo emergen paralelos del ocular (Figura 2). Esta configuración es especialmente útil porque el ojo humano en reposo está adaptado para enfocar objetos en el infinito, es decir, rayos paralelos. Para lograr esta condición, la separación entre el objetivo y el ocular debe ser igual a la suma de sus distancias focales (ecuación 3), de modo que la imagen formada por el objetivo coincida con el foco del ocular y los rayos salgan paralelos hacia el observador (Serway & Jewett, 2009).

$$L = f_o + f_e \quad (3)$$

Donde:

- $L$ : distancia entre el objetivo y el ocular
- $f_o$ : distancia focal del objetivo
- $f_e$ : distancia focal del ocular

## 2.4. Clasificación de telescopios refractores

En el caso particular de los telescopios refractores, existen dos configuraciones históricas fundamentales. La primera es el telescopio galileano, que combina una lente objetivo convergente de larga distancia focal con un ocular divergente de distancia focal corta (una lente que dispersa los rayos de luz en lugar de juntarlos). Esto tiene como ventaja la formación de una imagen final derecha. Sin embargo, presenta limitaciones como un campo de visión estrecho y la ausencia de una pupila de salida real externa.

Por su parte, el telescopio kepleriano, fundamenta su arquitectura exclusivamente en el uso de dos lentes convergentes: un objetivo de larga distancia focal, encargado de recolectar la luz, y un ocular de distancia focal corta que funciona como magnificador. En este caso, el "lente objetivo forma una imagen real e invertida del objeto distante en su plano focal, la cual es luego observada a través del ocular que actúa como lupa" (Serway y Jewett, 2009, p. 1025),

## 2.5. Aumento angular del telescopio

La magnificación angular, determina el aumento del telescopio, siendo uno de los parámetros fundamentales para su caracterización, y viene dado por

$$M = -\frac{f_{obj}}{f_{oc}} \quad (4)$$

Donde:

- $M$ : es la magnificación angular (adimensional)
- $f_{obj}$ : distancia focal del objetivo
- $f_{oc}$ : distancia focal del ocular

El signo negativo indica que la imagen final está invertida. Como se observa en la ecuación 4, cuanto mayor sea la magnificación angular  $M$ , más grande se verá un objeto al observarlo a través de un telescopio, lo que permitirá apreciar más detalles.

## 3. CONSTRUCCIÓN DEL TELESCOPIO

El presente trabajo consistió en el diseño, construcción y evaluación de un telescopio refractor de tipo kepleriano, empleando materiales de bajo costo, con el fin de verificar su funcionamiento óptico y su potencial didáctico. A continuación, se describen los materiales y equipos utilizados, el diseño del sistema óptico y el procedimiento experimental seguido para su construcción.

### 3.1 Materiales y equipos

En la Figura 3 se observan todos los materiales que conforman el sistema óptico, mecánico y de digitalización del telescopio construido. Los componentes se organizaron en tres categorías principales según su función.

**1. Sistema óptico:** se emplearon lupas comerciales como lentes debido a su bajo costo y fácil disponibilidad. Como lente objetivo se utilizó una lupa convergente biconvexa de 75 mm de diámetro y distancia focal aproximada de 540 mm, encargada de captar la luz de objetos lejanos y formar una imagen real dentro del tubo. Para el ocular, se emplearon cuatro lupas convergentes



pequeñas (también biconvexas) con una distancia focal efectiva cercana a los 30 mm, cuya función es magnificar la imagen formada por el objetivo.

2. **Estructura mecánica:** se utilizaron tubos de PVC de 3 pulgadas para el cuerpo principal y de 2 pulgadas para el tubo deslizante, complementados con uniones y reductores de PVC modificados para sujetar las lentes. Se aplicó pintura negra mate al interior de los tubos para absorber luz parásita y mejorar el contraste.
3. **Digitalización:** se adaptó una cámara web estándar a la que se le removió la lente original para exponer el sensor CMOS directamente al plano focal, acoplándola mediante un adaptador rígido fabricado a medida. El sistema se completó con un trípode fotográfico comercial para garantizar la estabilidad mecánica durante las observaciones.



**Figura 3:** Componentes del telescopio refractor kepleriano: lentes biconvexas (objetivo y ocular); tubos de PVC de 2 y 3 pulgadas, así como uniones y reductores que constituyen la estructura mecánica; además de un adaptador y trípode que soportan el sistema de captura digital.

## 3.2. Diseño del sistema óptico

Para determinar la distancia focal de cada lente,

se empleó el método de enfoque al infinito: se proyectó la imagen del Sol sobre una superficie y se midió la distancia desde la lente hasta el punto donde se formaba la imagen nítida y de menor tamaño. De esta manera, se estableció que el lente objetivo (lupa grande) tiene una distancia focal aproximada de  $f_{obj} = 540$  mm, mientras que el sistema ocular (conjunto de cuatro lentes pequeñas) presenta una distancia focal efectiva de  $f_{oc} = 30$  mm.

Con estos valores, se calculó la magnificación angular teórica del telescopio ( $M$ ) mediante la ecuación 4:

$$M = -\frac{540mm}{30mm} = -18 \times$$

Luego, para que el telescopio opere en condición afocal, separación óptica entre el objetivo y el ocular ( $L$ ) debe ser igual a la suma de sus distancias focales:

$$L = 540mm + 30mm = 570mm$$

Esta distancia corresponde a la posición que deben ocupar las lentes dentro del tubo cuando se observa un objeto en el infinito. Sin embargo, para permitir el enfoque de objetos más cercanos (como los utilizados en las pruebas terrestres), se dimensionó el tubo principal con una longitud mayor (650 mm), proporcionando así un margen de desplazamiento para el mecanismo de enfoque deslizante.

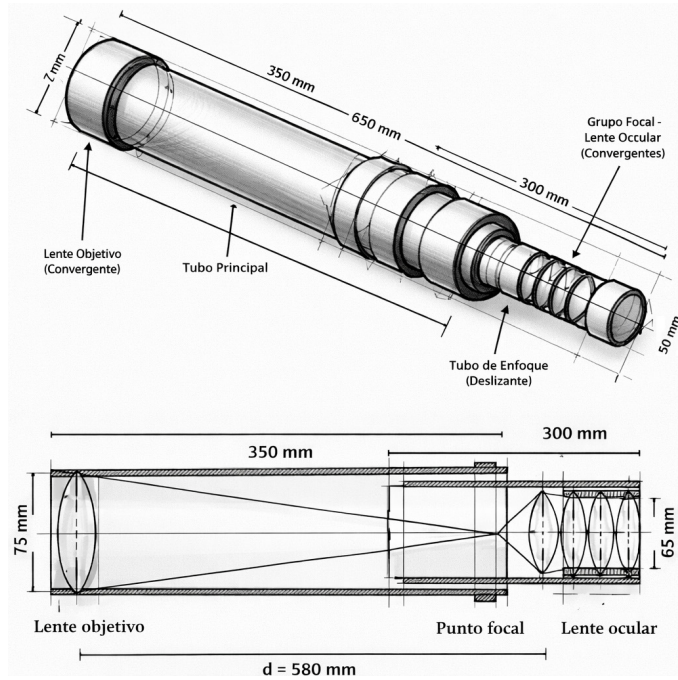
La elección de cuatro lentes para el ocular respondió a dos razones principales: primero, porque una sola lente con distancia focal tan corta (aproximadamente 30 mm) no estaba disponible comercialmente entre los materiales de bajo costo accesibles; segundo, porque la combinación de múltiples lentes permite reducir las aberraciones ópticas al distribuir la refracción de la luz entre varias superficies, mejorando así la nitidez y la calidad general de la imagen (Hecht, 2017).

## 3.3 Montaje experimental

El montaje se desarrolló en cuatro fases secuenciales. En la **Fase 1, construcción del sistema mecánico**, se ensambló un sistema



telescopio coaxial integrando el tubo de menor diámetro (tubo de enfoque) dentro del principal mediante un adaptador de reducción de PVC. Para lograr un ajuste de fricción preciso, se implementó un sistema de compensación de diámetro utilizando capas calibradas de cinta adhesiva y papel en el exterior del tubo deslizante, permitiendo un movimiento suave pero estable.



**Figura 4.** En la parte superior se muestra el esquema estructural del telescopio propuesto. En la parte inferior se muestra una vista lateral, identificando el lente objetivo, el tubo principal de 650 mm de longitud y el tubo de enfoque deslizante que aloja el ocular (Fuente: Imagen generada por IA, Gemini.)

La **Fase 2** consistió en el **ensamblaje óptico y montaje de lentes**. Para el objetivo principal, se utilizó una unión de PVC de 75 mm donde se asentó la lente biconvexa, asegurando su perpendicularidad al eje longitudinal del tubo. Las cuatro lentes del ocular se montaron dentro de un adaptador respetando el orden y orientación definidos, fijándolas mediante presión con anillos de retención fabricados con cartón para evitar daños y permitir futuras limpiezas (Véase Figura 4).

En la **Fase 3, integración digital y adaptación de cámara**, se diseñó y fabricó un cilindro rígido de material opaco que conecta físicamente el cuerpo de la cámara web con el ocular del telescopio. Esta pieza, denominada adaptador de cámara, se puede observar en la

parte posterior del telescopio, justo después del ocular, como se indica en la Figura 5. Esta pieza cumple la doble función de bloquear la entrada de luz ambiental y garantizar la alineación coaxial entre el sensor digital y la pupila de salida del sistema. La cámara se vinculó a un ordenador portátil mediante interfaz USB, utilizando software de captura de imagen en tiempo real para el monitoreo.

Finalmente, en la **Fase 4, estabilización y montaje en trípode**, se integró al cuerpo del telescopio una placa de montaje con rosca estándar de 1/4 de pulgada, permitiendo acoplar el instrumento de manera segura a un trípode fotográfico comercial (Véase Figura 5). Esta estabilización resultó indispensable, ya que la magnificación de 18× amplifica visualmente cualquier vibración microscópica, haciendo imposible la observación a mano alzada.

Finalmente, el telescopio kepleriano terminado se puede observar en la Figura 5, donde se muestran sus principales componentes y la disposición final del sistema, incluyendo el montaje en trípode y el acoplamiento del sistema de captura digital.



**Figura 5.** Telescopio kepleriano terminado. Se distingue el lente objetivo frontal, el tubo principal de PVC, el tubo deslizante para el enfoque y el ocular en el extremo posterior. Sobre el tubo se aprecia la placa de montaje para fijarlo a un trípode, mientras que en la parte final se observa el adaptador que permite acoplar una cámara web para captura digital.



## 4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas del prototipo de telescopio kepleriano. En esta etapa se registraron las distancias a las que se lograba un enfoque nítido, marcando físicamente en el tubo deslizante las posiciones correspondientes a cada rango de distancia. También se documentó cualitativamente la nitidez y el contraste de la imagen observada visualmente para objetos terrestres y astronómicos a distintas distancias. Adicionalmente, se evaluó el desempeño del sistema de captura digital, identificando la calidad de las imágenes obtenidas con la webcam y la aparición de aberración cromática en diferentes rangos de distancia. Finalmente, se determinó la magnificación efectiva del telescopio mediante la comparación visual del tamaño aparente de los objetos observados a simple vista y a través del instrumento.

### 4.1 Calibración del enfoque

El proceso de calibración del enfoque consistió en determinar el desplazamiento del ocular necesario para obtener imágenes nítidas de objetos ubicados a distintas distancias. Como punto de partida, se ajustó el telescopio para enfocar un objeto muy lejano (proceso conocido como "enfoque al infinito"), estableciendo así la posición de referencia (0 mm). Posteriormente, se seleccionó un objeto situado entre 2,09 m y 2,35 m, y se desplazó el ocular hasta obtener una imagen nítida. En este caso, fue necesario un desplazamiento de 206 mm respecto a la posición de referencia. Este procedimiento se repitió para los distintos rangos de distancia y objetos consignados en la segunda y tercera columna de la Tabla 1. Las distancias cortas se midieron con flexómetro, mientras que las largas se determinaron con Google Maps.

Como se observa en la Tabla 1, la separación entre los rangos de distancia no es uniforme, debido a que la relación entre la distancia del objeto y la posición de enfoque es no lineal, especialmente marcada en distancias cercanas. Los valores se expresan en rangos debido a la naturaleza experimental del ajuste manual del

enfoque.

**Tabla 1**

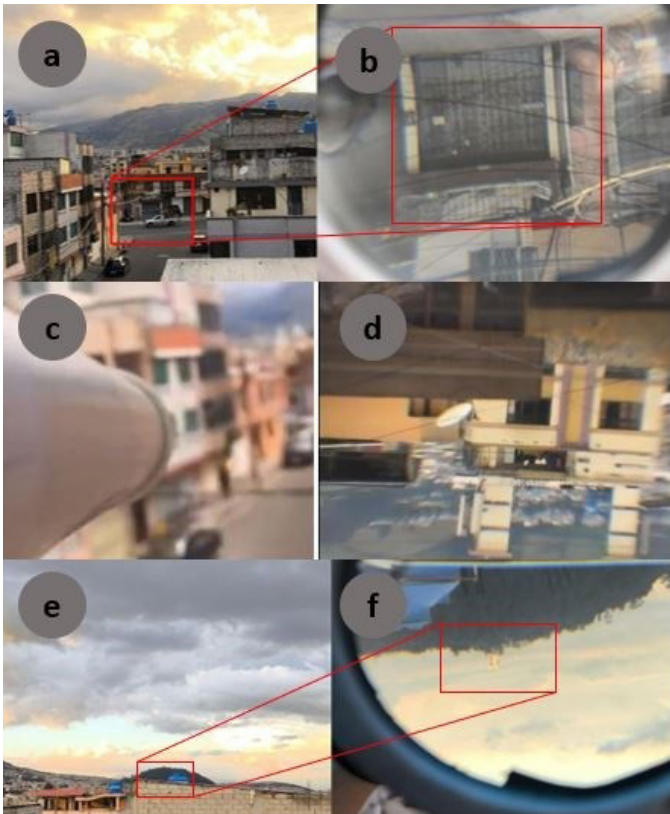
"Rangos de distancia observables y métodos de medición"

Calibración	Rangos de distancia	Objeto observado	Método de medición
206 mm	2,09 m – 2,35 m	Persona	Flexómetro
196 mm	2,50 m – 3,05 m	Persona	Flexómetro
184 mm	3,17 m – 4,17 m	Persona	Flexómetro
154 mm	4,38 m – 7,15 m	Persona	Flexómetro
117 mm	7,75 m – 600 m	Persona / estructura cercana	Flexómetro / Google Maps
71 mm	800 m – 2 km	Persona / estructura cercana	Google Maps
0 mm	Infinito	Objetos lejanos (enfoque mínimo)	Google Maps / Ajuste experimental

### 4.2 Observaciones terrestres

En observación terrestre, el telescopio permitió distinguir detalles de objetos ubicados a distintas distancias, como se muestra en la Figura 6. En dicha figura, las imágenes de la izquierda fueron tomadas con un teléfono celular como referencia, mientras que las de la derecha corresponden a las imágenes capturadas mediante el telescopio.

- Para una casa ubicada a 90 m (Figura 6a), se distingue claramente marcos, puertas y pasamanos (Figura 6b).
- Para un edificio a 250 m (Figura 6c), se aprecia una imagen con menor nitidez, pero con magnificación efectiva (Figura 6d).
- Finalmente, para una estructura ubicada a aproximadamente 4,5 km (la Virgen del Panecillo en Quito - Figura 6e), se distingue su forma general, pero no es posible apreciar detalles finos debido a la distancia y a las limitaciones del sistema óptico.



**Figura 6.** Comparación de observaciones realizadas con el telescopio diseñado. (a), (c) y (e): imágenes de referencia capturadas con un celular. (b), (d) y (f): imágenes obtenidas con el telescopio; arriba, casa a 90 m; en el centro, edificio a 250 m; abajo, Virgen del Panecillo a 4,5 km.

### 4.3 Observación Lunar

Durante la observación nocturna, se apuntó el telescopio hacia la Luna llena (ubicada aproximadamente a 384,400 km de distancia de la Tierra), obteniendo una imagen considerablemente ampliada donde se apreciaron manchas y relieves perceptibles, como se muestra en la Figura 7. En la Figura 7a se observa la imagen de la Luna tomada con un teléfono celular como referencia, sin aumento. En la Figura 7b se aprecia la imagen capturada con el telescopio, donde se distinguen manchas lunares con claridad. En la Figura 7c se evidencia un detalle ampliado de la superficie lunar, resaltando los relieves y texturas. Finalmente, en la Figura 7d se puede observar el efecto de la aberración cromática, manifestada como halos de color en los bordes de la imagen, atribuibles a la intensa luminosidad y a las limitaciones del sistema óptico, específicamente al uso de lentes simples no acromáticas.



**Figura 7.** Observación de la Luna Llena. Arriba izquierda (a): imagen de referencia con celular. Arriba derecha (b): imagen capturada con el telescopio, donde se distinguen manchas lunares. Abajo izquierda (c): detalle ampliado de la superficie lunar. Abajo derecha (d): aberración cromática evidente como halos de color en los bordes.

### 4.4 Desempeño del sistema de captura digital

Se integró un sistema de captura digital mediante webcam acoplada al ocular, como se visualiza en la Figura 8. En la parte superior de la figura se observa el planetario del Instituto Geográfico Militar tomado con un teléfono celular sin aumento, donde apenas se distingue el edificio. En la parte inferior se aprecia la misma estructura capturada con la webcam a través del telescopio, logrando visualizar la cúpula del edificio, aunque con pocos detalles y con presencia de aberración cromática. En términos de registro, la webcam fue funcional en rangos cortos e intermedios, pero se identificó una degradación notable a partir de distancias cercanas a 40–50 m, con pérdida de definición y aparición de aberración cromática, lo que limita su uso en distancias mayores.



**Figura 8.** Comparación del sistema de captura digital. Arriba: imagen sin aumento de un planetario ubicado a 2,2 km (capturada con teléfono celular). Abajo: la misma estructura observada a través del telescopio diseñado, donde se distingue la cúpula con bajo nivel de detalle y presencia de aberración cromática.

## 4.5 Estabilidad mecánica

Se comparó la estabilidad del sistema con y sin el uso de trípode. Sin trípode, se registró un nivel de vibración alto con facilidad de enfoque media. Con trípode, el nivel de vibración se redujo a, bajo manteniendo una facilidad de enfoque media, lo que evidencia una mejora significativa en la estabilidad al incorporar el soporte mecánico.

## 4.6 Costo del prototipo

El costo total del prototipo ascendió a 52,00 USD, considerando la compra de lentes tipo lupa (8 unidades por 1,00 USD cada una), codos de PVC, tubos, pintura, una cámara web de 14,00 USD y un trípode de 15,00 USD. Cabe destacar que algunos materiales, como el tubo de 2 pulgadas y el cartón, procedieron de material reciclado sin costo adicional.

## 5. DISCUSIÓN

El desempeño del telescopio mostró una coherencia general con el comportamiento esperado de un refractor kepleriano artesanal. La magnificación teórica calculada mediante la ecuación 4 fue de aproximadamente 18×, considerando un objetivo de 540 mm y un ocular de 30 mm. Para verificar este valor de manera experimental, se midió el diámetro de la pupila de salida del telescopio, que resultó ser aproximadamente 4 mm. Aplicando la relación:

$$D_{salida} = \frac{D_{obj}}{M}$$

Donde:

- $D_{salida}$ : diámetro de la pupila de salida, es decir, el disco de luz que se forma detrás del ocular y a través del cual la luz sale del telescopio hacia el ojo del observador.
- $D_{objetivo}$ : diámetro del lente objetivo, que es la lente frontal del telescopio encargada de captar la luz.
- $M$ : magnificación angular del telescopio.

obteniendo un valor cercano a 18,75×, lo que confirma de manera indirecta la magnificación calculada teóricamente. Las pequeñas variaciones observadas son atribuibles a la alineación manual de los componentes y a la calidad de las lentes utilizadas. Esta concordancia entre teoría y práctica es esperable en un sistema artesanal donde la magnificación depende principalmente de la razón de focales, mientras que la nitidez depende de factores mecánicos y de alineación.

Una de las ventajas fundamentales del diseño kepleriano adoptado es la formación de una imagen real intermedia. Se le denomina "intermedia" porque esta imagen se forma dentro del telescopio, entre el objetivo y el ocular, antes de ser nuevamente proyectada y magnificada por el ocular hacia el ojo del observador. Esta propiedad permitió verificar experimentalmente el funcionamiento del lente objetivo mediante la proyección de la imagen sobre una pantalla y, más importante aún, viabilizó la digitalización del instrumento al poder situar el sensor CMOS de la cámara web



directamente en el punto focal.

Durante las pruebas en condiciones de alta luminosidad, como en la observación lunar, se registró presencia de aberración cromática, observándose halos de color visibles alrededor de la imagen. Este fenómeno es consistente con el uso de lentes simples no acromáticas, ya que, como explica la Ley de Snell (Giancoli, 2006, p. 824), el índice de refracción varía con la longitud de onda, provocando que diferentes colores enfoquen en puntos ligeramente distintos. En observación terrestre mediante captura digital, la aberración cromática se evidenció especialmente a partir de 40–50 m, sumándose a la pérdida de definición y contraste del registro, comportamiento consistente con las limitaciones de sensores digitales al capturar bordes de alto contraste.

En la práctica, el mecanismo deslizante del ocular permitió enfocar objetos a diferentes distancias, aunque con limitaciones. Las principales restricciones observadas se concentran en: dependencia de la nitidez respecto a la alineación y estabilidad del instrumento, presencia de aberraciones cromáticas en condiciones de alta luminosidad, y limitaciones del sistema de captura digital a distancias mayores de 40-50 m. La dependencia de nitidez respecto al alineamiento se reconoce como un factor determinante del desempeño global, especialmente en observaciones de larga distancia.

El proyecto demuestra que es posible construir instrumentos ópticos didácticos de bajo costo que integren teoría y práctica, aportando un recurso valioso para la enseñanza de la física y la astronomía. La experiencia adquirida en la construcción, calibración y uso del telescopio confirma que las leyes fundamentales de la óptica geométrica (como la Ley de Snell, la ecuación de lentes delgadas y los principios de formación de imágenes) pueden ser demostradas experimentalmente con instrumentos accesibles, democratizando el acceso a la ciencia en contextos con recursos limitados.

## 6. CONCLUSIONES

El desarrollo del prototipo kepleriano permitió aplicar de manera integrada los principios de la óptica geométrica y las habilidades de construcción experimental propias de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales. El uso exclusivo de lentes convergentes amplió el campo visual, generó una imagen real intermedia y facilitó la adaptación de un sensor digital, evidenciando así la armonía entre la teoría y la práctica.

El telescopio construido con materiales accesibles (principalmente tubos de PVC y lentes tipo lupa) demostró un funcionamiento estable tanto en observaciones terrestres como lunares tal como se puede visualizar en la Figura 6 y 7. La estructura cumplió con la rigidez mecánica necesaria para soportar el sistema óptico y el mecanismo de enfoque deslizante permitió ajustar con precisión la distancia focal para objetos ubicados entre 2 m y el infinito como se aprecia en la Tabla 1. Esto confirma que es posible fabricar un instrumento funcional de bajo costo (52,00 USD) que satisface las exigencias básicas de estabilidad y operatividad.

La magnificación experimental, cercana a 18 $\times$ , corroboró la coherencia entre los cálculos de la teoría de lentes delgadas y el comportamiento real del sistema. Se verificó que la relación de la ecuación 4 predice adecuadamente el aumento del instrumento, cumpliendo así con el objetivo de caracterizar experimentalmente su funcionamiento óptico. No obstante, se detectaron limitaciones inherentes a los materiales empleados, como la aparición de aberración cromática en condiciones de alta luminosidad (especialmente en observación lunar, Figura 7) y la pérdida de nitidez en la captura digital a distancias mayores de 40 m como se aprecia en la Figura 8, lo cual señala áreas específicas de mejora para futuros prototipos.

El proyecto demuestra que es viable construir instrumentos ópticos didácticos de bajo costo que integren teoría y práctica, aportando un



recurso valioso para la enseñanza de la física y la astronomía. La experiencia adquirida en la construcción, calibración y uso del telescopio sienta las bases para el diseño de actividades pedagógicas y para futuras mejoras en el dispositivo, lo que favorecerá su aplicación en contextos educativos y de divulgación científica. Se confirma así que el objetivo general del estudio (aplicar los principios de la óptica geométrica para diseñar y construir un prototipo funcional con fines educativos) ha sido alcanzado satisfactoriamente.

## 7. REFERENCIAS

- Giancoli, D. C. (2006). Física: Principios con aplicaciones (6.ª ed., Vol. 2). Pearson Educación.
- Hecht, E. (2017). Óptica (5.ª ed.). Pearson Educación.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. S. (2002). Física (5.ª ed., Vol. 2). Grupo Editorial Patria.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). Física para ciencias e ingeniería (7.ª ed., Vol. 2). Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2010). Física para la ciencia y la tecnología: Electricidad y magnetismo (6.ª ed., Vol. 2). Editorial Reverté.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2013). Física universitaria con física moderna (13.ª ed., Vol. 2). Pearson Educación.

## INFORMACIÓN DE LA REVISTA

### Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

<https://revistasdivulgacion.uce.edu.ec/index.php/>

e-ISSN : 3103-1323

Periodicidad: Cuatrimestral

Edición: Núm. 9, abril 2026

e-mail: revista.praxis@uce.edu.ec