



Universidad de Valladolid

ELABORACIÓN DE MATERIAL
EXPERIMENTAL PARA LA ENSEÑANZA
DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato,
Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas

Autor:

Irene Sánchez Valiente

Tutores:

José María Muñoz Muñoz

Carlos Torres Cabrera

Marco Antonio Gigosos Pérez

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	4
Abstract.....	4
1 Introducción.....	6
1.1 Motivación y Contextualización.....	6
1.2 Objetivo del trabajo.....	7
1.3 Justificación de la temática	8
2 Aspectos docentes y didácticos	10
2.1 Objetivos didácticos	10
2.2 Breve descripción de la actividad	10
2.3 Análisis curricular y competencial	11
3 La experiencia de laboratorio	16
3.1 Sistema fotográfico	16
3.1.1 Fundamento teórico.....	17
3.1.2 Material empleado	18
3.1.3 Construcción	19
3.1.4 Procedimiento experimental	20
3.1.5 Resultados obtenidos.....	21
3.2 Proyector	22
3.2.1 Fundamento teórico.....	23
3.2.2 Material empleado	24
3.2.3 Construcción	25
3.2.4 Procedimiento experimental	26
3.2.5 Resultados obtenidos.....	27
3.3 Telescopio	28
3.3.1 Fundamento teórico.....	29

3.3.2	Material empleado	30
3.3.3	Construcción	31
3.3.4	Procedimiento experimental	35
3.3.5	Resultados obtenidos	37
3.4	Microscopio simple	39
3.4.1	Fundamento teórico.....	40
3.4.2	Material empleado	42
3.4.3	Construcción	42
3.4.4	Procedimiento experimental	43
3.4.5	Resultados obtenidos	44
4	Implementación en distintos escenarios	48
4.1	Experiencia de Cátedra	48
4.1.1	Descripción de la actividad	49
4.2	Experiencia de laboratorio	50
4.2.1	Metodología.....	50
4.2.2	Adecuación al currículo	51
4.2.3	Temporalización	51
4.2.4	Organización del alumnado	52
4.2.5	Evaluación	52
4.3	Construcción de los experimentos	53
4.3.1	Metodología.....	54
4.3.2	Temporalización	54
5	Valoración final y conclusiones.....	56
	Bibliografía	58
	Anexo I. Análisis de gastos.....	60
	Anexo II. Fotografías del microscopio	62

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo de Fin de Máster es proporcionar una guía a los profesores para la elaboración de una serie de experiencias basadas en conceptos de Óptica Geométrica para su posterior aplicación en distintos ámbitos.

Se proponen tres modos de aplicación: como experiencia de cátedra para complementar parte de los conceptos teóricos de Óptica Geométrica de la asignatura de Física de segundo de bachillerato; como experiencia de laboratorio en la que se les proporciona a los alumnos el material ya fabricado y ellos deben aprender a manipularlo y realizar medidas, también para segundo de bachillerato; y por último, el proceso de construcción en otros cursos en un ámbito no académico.

Las experiencias propuestas son la elaboración de un sistema fotográfico, un proyector, un telescopio astronómico y un microscopio simple con materiales fácilmente asequibles de manera que los recursos del centro no sean un problema.

ABSTRACT

The aim of this work is to suggest a guide for teachers to prepare various Geometrical Optics experiments for its use in different contexts.

Three modes of application are proposed: a teaching experiment complementing some of the theoretical concepts of Geometric Optics from Physics subject; a laboratory experience in which students are given the already built devices; and finally the construction of the devices in a non-academic context.

The experiments here proposed are a photographic system, a projector, a telescope and a simple microscope. The materials to construct them are easily found and affordable so that the school resources would not be a problem.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La experimentación es la herramienta fundamental para el avance científico. La Física, como las Ciencias en general, no es inamovible, sino que está en constante cambio gracias a que está sometida a una continua verificación a través de la experimentación. Es gracias a distintos experimentos que a lo largo de la historia diferentes científicos se dieron cuenta de que nuestro conocimiento del universo era incompleto y que era necesario enunciar nuevas leyes que lo describieran.

Es importante que los alumnos entiendan la importancia de la experimentación en el avance científico. En muchas ocasiones, sin embargo, las clases de secundaria no reflejan esa importancia, ya que tienen una carga práctica y experimental prácticamente inexistente. Esto puede ser debido a la organización de los centros y del currículo, o de la posible ausencia de recursos (López Velasco, Lupión Cobos, & Mirabent Martínez, 2005). A pesar de que los profesores mencionen los diferentes experimentos que en su momento hicieron tambalear los conocimientos que se tenían hasta entonces, no es sencillo asimilar esta manera de proceder si no se ha estado en contacto con ella. Además, en ocasiones los alumnos separan los conceptos teóricos de la propia aplicabilidad, algo que no debería suceder bajo ningún concepto. Primero, porque la explicación de sucesos cotidianos es la principal razón por la que las Ciencias aparecen en primer lugar, y segundo, porque proporcionar explicaciones científicas a aspectos cotidianos aumenta el interés de los alumnos (Pinto Cañón, 2003). No es descabellado pensar que esta separación de la teoría y práctica pueda ser en parte responsable del rechazo que los alumnos sienten hacia la materia, sobrecargada con material teórico.

Las experiencias de laboratorio son por tanto una parte inherente a la Física y la Química y al avance tecnológico y científico que no se deben dejar de lado, ya que además es una excelente herramienta pedagógica y didáctica. No solamente complementa los contenidos teóricos que los alumnos estudian, sino que, además, despierta el interés de los alumnos y por lo tanto su motivación, especialmente si tienen la oportunidad de experimentar ellos mismos. Todo esto hace que las prácticas sean un recurso muy interesante que puede mejorar mucho el aprendizaje, persiguiendo un *aprendizaje significativo* como objetivo principal.

El aprendizaje significativo es un concepto defendido por David Ausubel (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978) que plantea un enfoque constructivista del aprendizaje. Esto quiere decir que es necesario relacionar los conceptos nuevos con los conocimientos previos relacionados. De esta manera, la nueva información se incorpora a la estructura cognitiva del alumno de forma adecuada, completando o modificando los esquemas que éste poseía de los diferentes conceptos. Así, la información perdurará más tiempo, y además estará disponible para incorporar información posterior. Este modelo se centra en la *práctica* como generador de estos conocimientos, en contraposición al aprendizaje memorístico que en ocasiones se utiliza en las aulas y que no genera los mismos resultados.

El aprendizaje significativo está ligado al aprendizaje funcional, es decir, aquel que se puede utilizar de manera efectiva para resolver problemas determinados. Pero para lograr un aprendizaje significativo se requieren tres condiciones (de Andrea González & Gómez Gómez, 2005):

1. La información no debe ser arbitraria o confusa, sino coherente y organizada. Debe de tener una estructura interna adecuada.
2. Que el alumno disponga de los conocimientos previos necesarios para estructurar la nueva información sobre ellos.
3. Una actitud favorable en el alumnado.

La explicación de fenómenos físicos de la vida cotidiana no solamente mejora el aprendizaje de la Física, sino que induce en el alumno cierto interés en la asignatura y mejora en su capacidad de razonamiento, acercándose a un aprendizaje significativo, funcional e interdisciplinar (de Andrea González & Gómez Gómez, 2005).

1.2 OBJETIVO DEL TRABAJO

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo presentar una serie de experiencias prácticas relacionadas con la Óptica Geométrica, proporcionando una guía para su fabricación y algunas pautas para su aplicación en distintos contextos.

Es claro que la manera de llevar una práctica al aula depende enormemente del contexto de cada clase, de cada alumno y de cada centro, así como de situaciones externas a éste, como puede ser un cambio en el currículo actual, la cantidad de recursos disponibles o incluso una situación de pandemia. Es por esta razón que este trabajo va dirigido no a los alumnos directamente sino a los profesores, dejando a su criterio la adaptación a cada contexto particular. Para proporcionar así

una mayor flexibilidad, en este trabajo se propone desde una experiencia de cátedra hasta la posibilidad de su fabricación en un taller o en una actividad extraescolar, o incluso en una hipotética futura asignatura del currículo donde pueda encajar.

Las prácticas propuestas aquí no solamente son sencillas de realizar, sino que los recursos necesarios para fabricarlas son muy fáciles de obtener y también muy económicos, de manera que no sería un problema para un centro que disponga de pocos recursos y es perfecta para la realización con los alumnos en otros contextos.

Las experiencias se han elegido de tal manera que puedan resultar como recurso didáctico para la asignatura de Física de segundo de bachillerato, que es el primer curso en el que se trata algo de Óptica, al menos actualmente. En este caso, se ubicarían en el bloque de Óptica Geométrica, siguiendo el currículo que recoge la ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. Las experiencias propuestas relacionan el currículo de este curso con elementos cotidianos, tanto los materiales para su construcción, como los instrumentos que se construyen como objetivo. De esta manera, los alumnos pueden ver la aplicabilidad de lo que están estudiando en la asignatura de Física de forma teórica, pueden comprobar que se cumplen las fórmulas y las leyes físicas, y pueden predecir qué sucederá si modifican la disposición experimental antes de hacerlo.

Sin embargo, se considera que también se puede llevar de manera menos cuantitativa (sin fórmulas matemáticas), con una explicación breve inicialmente, a alumnos más jóvenes que no hayan estudiado Óptica al menos a esta profundidad. La razón es que, tanto las lupas como los sistemas que se construyen, son objetos con los que están familiarizados. Además, este tipo de experiencias son las que acercan la Física a los alumnos, aumentan su curiosidad y disminuyen el rechazo que tienen muchos de ellos hacia la asignatura.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA TEMÁTICA

Se ha elegido como temática para las prácticas la óptica geométrica por varias razones. La óptica es, por su propia naturaleza, muy visual. Además, aunque la luz es una onda electromagnética, y como tal, puede generar fenómenos de interferencia y difracción, que son más difíciles de estudiar, la óptica geométrica se ocupa de las situaciones en las que la longitud de onda es mucho menor que los objetos involucrados y por lo tanto estos fenómenos se pueden despreciar. Así, se centra en el comportamiento de la luz cuando ésta interacciona con los instrumentos ópticos a los que

estamos acostumbrados, es decir, objetos cotidianos como pueden ser lentes y espejos. El hecho de que sea un fenómeno tan visual y se relacione con el día a día de los alumnos hace que tenga un gran potencial de aplicabilidad en una experiencia práctica.

Por otro lado, según el currículo actual no se comienza a estudiar óptica hasta llegar a segundo de bachillerato, que es además el último curso en el que la mayoría de los alumnos estudiará algo sobre este tema. Esto es algo que ocurre con gran parte del temario de este curso, porque es la primera vez que las asignaturas de Física y Química se estudian por separado, ampliando enormemente el contenido. Así, es importante que los alumnos de este curso logren un buen aprendizaje de estos conocimientos nuevos durante este curso, ya que la gran mayoría no volverá a estudiarlos a lo largo de su vida académica. Pero, además, es una buena manera de acercar la óptica a alumnos más jóvenes que no estudiarán Física en segundo de bachillerato y por lo tanto nunca llegarán a ver nada relacionado con ello ni las aplicaciones que pueden tener.

2 ASPECTOS DOCENTES Y DIDÁCTICOS

2.1 OBJETIVOS DIDÁCTICOS

Algunos de los objetivos que se persiguen con esta actividad son los siguientes:

- Permitir la conexión por parte de los alumnos entre la teoría y la práctica.
- Motivar a los alumnos mejorando su interés por la asignatura, proporcionando así un aprendizaje más significativo.
- Desarrollar una capacidad de pensamiento práctico en los alumnos.
- Fomentar la capacidad de indagación y análisis crítico de la búsqueda de la información.
- Reconocer la utilidad de la Física para interpretar fenómenos del entorno, así como su aplicabilidad a entornos tecnológicos.
- Comprender y analizar el funcionamiento de objetos de uso cotidiano como lo son una cámara fotográfica, un proyector, un telescopio y un microscopio simple.
- Desarrollar actitudes de iniciativa y trabajo en equipo.

2.2 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Los contenidos teóricos que se relacionan con los cuatro experimentos planteados en el trabajo encajan en la asignatura de Física de segundo de bachillerato. Sin embargo, éste es un curso complicado porque termina con los exámenes de la EBAU, lo que implica ciertas restricciones de tiempo a la hora de realizar actividades que no sean puramente teóricas o de problemas. Como consecuencia, es muy posible que todo el proceso de construcción de los instrumentos no sea viable durante el curso, tal y como está planteado el currículo.

Por esta razón se plantean diversas modalidades de desarrollo para la actividad, con el fin de dar una mayor flexibilidad a la hora de adaptarlo en el contexto de cada situación particular.

- **Experiencia de cátedra.** Consistiría en una clase magistral en la que se complementan los conceptos teóricos que se explican en clase mediante los experimentos. El profesor lleva el experimento ya preparado a clase, y solamente lo maneja él.

- **Experiencia de laboratorio.** La clase se dividiría en 4 grupos como mínimo, dependiendo de la cantidad de alumnos en cada clase. Los experimentos se les proporciona ya fabricados, de manera que los alumnos solamente tienen que manejarlos y comprobar las relaciones matemáticas que han aprendido en clase utilizándolos para realizar medidas.
- **Construcción de los instrumentos.** Esta actividad está propuesta para que los alumnos construyan su propio material. Debido al tiempo disponible es la modalidad que será más difícil llevar a cabo y necesitará un contexto muy favorable.

Cada modalidad de desarrollo de la actividad se detalla con más profundidad más adelante en el *capítulo 4* destinado a ello.

2.3 ANÁLISIS CURRICULAR Y COMPETENCIAL

Según la legislación educativa autonómica actual, la ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León, las experiencias planteadas en este trabajo estarían encuadradas en el bloque de óptica geométrica de Física de segundo de bachillerato debido a la temática elegida, aunque por tener una componente experimental también se aplican aspectos del primer bloque sobre la actividad científica. A continuación se presentan los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje de estos bloques en este curso, resaltando mediante subrayado los aspectos que se trabajarán.

Bloque 1. La actividad científica		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje
<u>Estrategias propias de la actividad científica:</u> <u>etapas fundamentales en la investigación científica.</u> Magnitudes físicas y análisis dimensional. <u>El proceso de medida.</u> <u>Características de los instrumentos de medida adecuados.</u>	1. <u>Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica.</u>	1.1. <u>Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando y analizando problemas, emitiendo hipótesis fundamentadas, recogiendo datos, analizando tendencias a partir de modelos, diseñando y proponiendo estrategias de actuación.</u>
		1.2. Efectúa el análisis dimensional de las ecuaciones que relacionan las diferentes magnitudes en un proceso físico
		1.3. <u>Resuelve ejercicios en los que la información debe deducirse a partir de los</u>

Bloque 1. La actividad científica		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje
<p><u>Incertidumbre y error en las mediciones: Exactitud y precisión. Uso correcto de cifras significativas. La consistencia de los resultados.</u></p> <p>Incertidumbres de los resultados. Propagación de las incertidumbres.</p> <p>Representación gráfica de datos experimentales. Línea de ajuste de una representación gráfica. Calidad del ajuste.</p> <p>Aplicaciones virtuales interactivas de simulación de experiencias físicas.</p> <p>Uso de las tecnologías de la Información y la Comunicación para el análisis de textos de divulgación científica.</p>	<p>2. <u>Conocer, utilizar y aplicar las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el estudio de los fenómenos físicos.</u></p>	<p><u>datos proporcionados y de las ecuaciones que rigen el fenómeno y contextualiza los resultados.</u></p>
		<p>1.4. Elabora e interpreta representaciones gráficas de dos y tres variables a partir de datos experimentales y las relaciona con las ecuaciones matemáticas que representan las leyes y los principios físicos subyacentes.</p>
		<p>2.1. Utiliza aplicaciones virtuales interactivas para simular experimentos físicos de difícil implantación en el laboratorio.</p>
		<p>2.2. <u>Analiza la validez de los resultados obtenidos y elabora un informe final haciendo uso de las TIC comunicando tanto el proceso como las conclusiones obtenidas.</u></p>
		<p>2.3. <u>Identifica las principales características ligadas a la fiabilidad y objetividad del flujo de información científica existente en internet y otros medios digitales.</u></p>
<p>2.4. Selecciona, comprende e interpreta información relevante en un texto de divulgación científica y transmite las conclusiones obtenidas utilizando el lenguaje oral y escrito con propiedad.</p>		

Bloque 5. Óptica geométrica		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje
<p><u>Leyes de la óptica geométrica. La óptica paraxial. Objeto e imagen.</u></p> <p><u>Sistemas ópticos: lentes y espejos. Elementos geométricos de los sistemas ópticos y criterios de signos.</u></p> <p><u>Los dioptrios esférico y plano. El aumento de un dioptrio, focos y distancias</u></p>	<p>1. <u>Formular e interpretar las leyes de la óptica geométrica.</u></p>	<p>1.1. <u>Explica procesos cotidianos a través de las leyes de la óptica geométrica.</u></p>
	<p>2. <u>Valorar los diagramas de rayos luminosos y las ecuaciones asociadas como medio que permite predecir las características de las</u></p>	<p>2.1. Demuestra experimental y gráficamente la propagación rectilínea de la luz mediante un juego de prismas que conduzcan un haz de luz desde el emisor hasta una pantalla.</p>
	<p><u>características de las</u></p>	<p>2.2. <u>Obtiene el tamaño, posición y naturaleza de la imagen de un objeto producida por un espejo plano y una</u></p>

Bloque 5. Óptica geométrica		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje
<u>focales. Construcción de imágenes.</u>	<u>imágenes formadas en sistemas ópticos.</u>	<u>lente delgada realizando el trazado de rayos y aplicando las ecuaciones correspondientes</u>
Espejos planos y esféricos. Ecuaciones de los espejos esféricos, construcción de imágenes a través de un espejo cóncavo y convexo.	3. Conocer el funcionamiento óptico del ojo humano y sus defectos y comprender el efecto de las lentes en la corrección de dichos efectos.	3.1. Justifica los principales defectos ópticos del ojo humano: miopía, hipermetropía, presbicia y astigmatismo, empleando para ello un diagrama de rayos.
<u>Lentes. Ecuación fundamental de las lentes delgadas. Potencia óptica de una lente y construcción de imágenes en una lente.</u>	4. <u>Aplicar las leyes de las lentes delgadas y espejos planos al estudio de los instrumentos ópticos.</u>	4.1. <u>Establece el tipo y disposición de los elementos empleados en los principales instrumentos ópticos, tales como lupa, microscopio, telescopio y cámara fotográfica, realizando el correspondiente trazado de rayos.</u>
Instrumentos ópticos: El ojo humano. Defectos visuales.		4.2. <u>Analiza las aplicaciones de la lupa, microscopio, telescopio y cámara fotográfica considerando las variaciones que experimenta la imagen respecto al objeto.</u>
<u>Aplicaciones tecnológicas: instrumentos ópticos: la lupa, el microscopio, la cámara fotográfica, anteojos y telescopios y la fibra óptica.</u>		

Por otro lado, según la Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato, se establece siete competencias clave vinculadas a los objetivos generales definidos para la Educación Primaria, la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato. Esas competencias clave son las siguientes: comunicación lingüística, competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología, competencia digital, aprender a aprender, competencias sociales y cívicas, sentido de iniciativa y espíritu emprendedor, y conciencia y expresiones culturales, las cuales están descritas en la Orden mencionada anteriormente. De estas siete competencias clave, mediante las experiencias propuestas se pueden desarrollar las siguientes:

- **Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.** Por la propia naturaleza de los experimentos, y concretamente del temario donde se ha ubicado, pero también a lo largo del proceso de elaboración y construcción si éste es realizado por los alumnos, a través de las mediciones y el cálculo de magnitudes, a través del desarrollo de

la propia experiencia y de la búsqueda de información sobre cómo se modifican los instrumentos reales en la actualidad.

- **Competencia digital.** En el tratamiento de datos de la práctica del microscopio, así como en la búsqueda de información y en la elaboración de una presentación para explicar el resultado al resto de los compañeros.
- **Aprender a aprender.** Se desarrolla a través del propio método científico aplicado por los alumnos durante la práctica y durante la construcción de los instrumentos.
- **Competencias sociales y cívicas.** La realización de la práctica está planteada por parejas e incluso grupos, de forma que, al trabajar de esta manera, han de debatir e intercambiar ideas y opiniones, así como afrontar problemas y buscar soluciones de forma conjunta y cooperativa.
- **Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.** A través de la resolución de problemas que vayan surgiendo, así como la aportación de ideas sobre la posible mejora de los instrumentos de la propia práctica mediante ideas propias y su implementación real.

Como se ha mencionado anteriormente en la *sección 2.2*, en este trabajo se plantean distintos modos de llevar la actividad a cabo. Dependiendo del modo de aplicación se desarrollarán unas u otras. Solamente se desarrollarían todas las competencias aquí mencionadas si los alumnos participan en la medición y la construcción, algo que, si se opta por una experiencia de cátedra, no sucedería.

3 LA EXPERIENCIA DE LABORATORIO

En esta sección primero se hará una introducción teórica acerca de la física de cada instrumento que se describe, de manera que se pueda comprender adecuadamente su funcionamiento. Esta introducción teórica no va dirigida a los alumnos, sino que su objetivo es servir de guía a los profesores, ya que hay algún aspecto que se excede del currículo de bachillerato actual, pero que se incluye porque se considera necesario que el profesor tenga en cuenta estos detalles para poder fabricar los instrumentos de manera óptima, o bien guiar adecuadamente a los alumnos para ello. En cualquier caso, estos aspectos serán detallados más adelante.

Después de la introducción teórica se describen los materiales utilizados y el proceso de construcción de cada instrumento, así como los pasos que se debe seguir para realizar las medidas. Finalmente, se incluye un apartado de resultados donde se pone de manifiesto qué es lo que se puede esperar de estas experiencias (si las medidas realizadas tienen la suficiente exactitud para efectivamente poder comprobar las ecuaciones teóricas, cómo de buenos son los resultados o las imágenes obtenidas con ellos...).

3.1 SISTEMA FOTOGRÁFICO

Un sistema fotográfico tiene por objetivo recoger la luz que llega reflejada de nuestro entorno y enfocarla en una pantalla. Las cámaras de fotos han evolucionado mucho a lo largo de la historia, pero el fundamento principal de todas ellas es el mismo.

Los primeros instrumentos que plasmaban una imagen en una pantalla fueron las cámaras oscuras, que ni siquiera tenían una lente como objetivo. Los sistemas fueron evolucionando, se añadieron lentes y se desarrollaron maneras cada vez más eficientes de plasmar la imagen de manera permanente mediante materiales fotosensibles y el revelado de imágenes, que se realizaba en el interior de las propias cámaras. Asimismo, se modificaron las cámaras grandes y pesadas en pequeñas y más fácilmente transportables, cuyas fotografías ya no se revelaban al instante y llevaban un carrito para poder hacer más de una fotografía cada vez, y también se desarrollaron cámaras instantáneas. Sin embargo, la última revolución de la fotografía apareció con la invención de la cámara digital, que es probablemente la más conocida por los alumnos actualmente, ya que cada teléfono móvil incluye al menos una. (Rubal Thomsen, 2018).

Las cámaras de fotos digitales en realidad funcionan de una manera similar. El objetivo de la cámara forma la imagen del paisaje que se está fotografiando en una pantalla, que, en este caso, en vez de

un carrete, se corresponde con una placa fotosensible, compuesta de millones de pequeños fotodiodos. Cada uno de ellos se transforma en un píxel de la fotografía, y por tanto la cantidad de estos detectores determina la resolución máxima de la cámara.

En esta experiencia se pretende realizar un sistema fotográfico simplemente para recoger la imagen en tiempo real, sin ningún tipo de material fotosensible ni revelado.

3.1.1 Fundamento teórico

Esta sección está extraída de (Casas, 1994).

Los sistemas fotográficos tienen una parte óptica única que es el objetivo. Aproximando el objetivo a una lente convergente delgada, de distancia focal f' , se tendría que la lente del objetivo cumple la relación

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

donde f' es la distancia focal de la lente, s es la distancia de la lente al objeto, y s' la distancia de la lente a la imagen del objeto, siempre teniendo en cuenta el criterio de signos de las normas DIN.

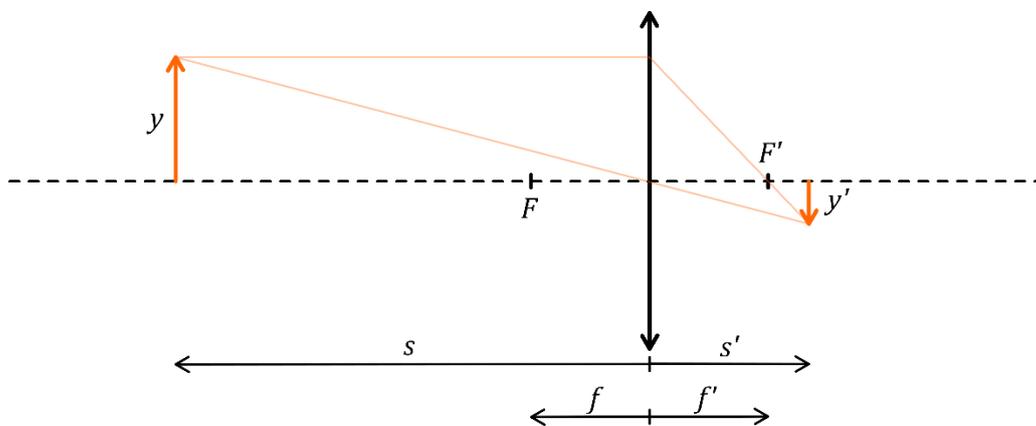


Figura 3-1. Dibujo esquemático del funcionamiento del objetivo de un sistema fotográfico simple.

Así, se tendría que los objetos que se sitúen a una distancia muy grande (aproximadamente en el infinito) respecto de la distancia focal, formarían su imagen a una distancia de f' detrás de la lente. Si se desea fotografiar objetos más cercanos, la imagen se formaría a una distancia s' de la lente, que sería algo mayor que f' .

De esta manera, con la ecuación (1) se pueden conocer las posiciones del objeto y la imagen. En el caso de un instrumento fotográfico, esto es la posición de lo que se quiere fotografiar respecto del objetivo, y la posición de la pantalla donde se enfocará la respectiva imagen.

El aumento lateral Γ' que proporciona la lente es la relación entre el tamaño del objeto y y el tamaño de la imagen y' , que, para lentes delgadas, coincide con la relación entre las distancias a las que se encuentren el objeto y la imagen de la lente, s y s' , respectivamente:

$$\Gamma' = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \quad (2)$$

Como en el caso de un sistema fotográfico la imagen es más pequeña que el objeto, $\Gamma' < 1$.

3.1.2 Material empleado

Para realizar la experiencia se emplean los siguientes materiales:

- Una **lente convergente**, o lupa. Dado que es la parte principal del sistema, es lo primero y lo que más cuidadosamente hay que elegir. Debe ser de diámetro grande, de manera que recoja mayor cantidad de luz, pero que no supere la altura de la caja. Debe tener una distancia focal no demasiado corta ni demasiado larga (aproximadamente 20 cm). Para medir su distancia focal, simplemente se probará a formar la imagen de un objeto lo suficientemente lejano, y se medirá la distancia entre la imagen formada y la lente. Para la realización de este trabajo se utilizó una lupa de 90 mm de diámetro, de 230 mm de distancia focal.
- Una **caja**. Debe ser aproximadamente del doble de longitud de la distancia focal de la lupa, para que las imágenes se formen en el interior de ésta. Conviene que sea de cartón o de algún material que se pueda cortar fácilmente. En caso de no encontrar una caja tan grande, es posible desmontar el frontal y pegar otro cartón al fondo para alargarla, o bien alejar la lupa del frontal de la caja añadiendo un cilindro. Para la realización de este trabajo se utilizó una caja de zapatos de dimensiones 37 × 25 × 10,5 cm.
- **Papel translúcido**, donde se formará la imagen. Para este trabajo se utilizó papel vegetal del que se usa para cocinar.
- Algunos trozos de **cartulina** o **cartón**.
- Un instrumento para cortar, preferiblemente un cúter.
- Una **regla**, **metro** o **cinta métrica**, que se utilizará para realizar medidas.
- Un **lapicero** o **bolígrafo**, para marcar en el cartón.

- **Cola blanca**, para pegar cartón y/o cartulina, y **pinzas de la ropa** para dejar secando el pegamento.
- **Cinta aislante, de carroceros** o similar.
- Una **cinta métrica de papel**, puede ser de propaganda o bien impresa¹, en cuyo caso siempre al 100% de tamaño para que las medidas sean las correctas. Ésta irá pegada a la caja y servirá para medir las distancias de la lupa a la imagen.

3.1.3 Construcción

Lo primero es colocar la lente, que se debe situar en uno de los dos lados más estrechos de la caja, lo más centrada posible. Para centrarla, se debe conocer el alto y el ancho del lado de la caja donde se va a colocar, y después se marca con un lapicero el lugar donde debería ir la lupa, teniendo en cuenta su diámetro. A continuación, se coloca la lupa en el lugar indicado y se marca el contorno como muestra la Figura 3-2 (a). Con un cúter, se corta y se extrae el cartón sobrante, y se coloca la lupa, (Figura 3-2 (b)) de manera que quede lo más paralela posible a la pared original (se puede sujetar el mango de la lupa con cinta aislante, o introducirlo entre las dos láminas de cartón del fondo de la caja, si tiene y es posible).

Es conveniente dibujar una línea perpendicular a la lupa que pase por el centro de ésta, para simular el eje óptico y que sea más sencillo colocar el resto de los componentes (Figura 3-2(c)).



(a) Se coloca la lente en el centro de la pared, y se recorta el cartón alrededor.



(b) Se encaja la lupa en el hueco.



(c) En el suelo de la caja se dibuja una línea perpendicular a la lupa que pase por el centro de ésta.

Figura 3-2. Pasos a seguir para colocar la lente en la pared de la caja.

¹ Cinta métrica imprimible. Recuperado el 20 de mayo de 2021 de https://www.gyuniformes.com/images/Tabla_Medidas/Cinta_Metrica_GC.pdf

El siguiente paso es construir la pantalla donde se formará la imagen. Para ello se utiliza el papel



Figura 3-3. Soporte para la pantalla de papel vegetal.

translúcido, en este caso papel vegetal, que se ha de colocar paralelo a la lente y lo más centrado posible al eje óptico que se ha dibujado. Para sujetarlo de forma vertical dentro de la caja y que se pueda mover con facilidad para enfocar la imagen correctamente, se puede construir un soporte con cartón, como el que aparece en la Figura 3-3. El papel vegetal ha de quedar libre por ambos lados, para que se forme la imagen sobre él y se pueda observar desde detrás, y sin demasiadas arrugas, o de lo contrario estropeará la imagen.

Con un cúter se debe realizar un corte en la parte posterior de la caja, en forma de ventana para que se pueda abrir y cerrar. Desde esta pequeña ventana se podrá observar la imagen formada en la pantalla, de manera que al quedar en penumbra se vislumbre mejor.

Para realizar las medidas de la distancia a la que se ha formado la imagen, se puede pegar en la base de la caja y a lo largo de la línea que se había dibujado como eje óptico, la cinta métrica de papel, desde la posición de la lente de la lupa, donde se coloca el 0, hasta el final de la caja. Así, la posición de la pantalla cuando la imagen está enfocada coincidirá exactamente con s' .

3.1.4 Procedimiento experimental

Dado que se ha realizado el experimento de tal manera que sea desmontable, antes de realizar las medidas hay que colocar todos los componentes:

1. Se coloca la lupa correspondiente en el agujero a medida de la caja, de tal manera que quede lo más perpendicular posible al eje óptico dibujado. Se puede sujetar con cinta de carroceros o bien introduciendo el mango entre las dos láminas de cartón que suelen tener las cajas de zapatos.
2. A continuación, se coloca el soporte con la pantalla en el interior de la caja, también perpendicular al eje óptico, para que la imagen sea lo más nítida posible.

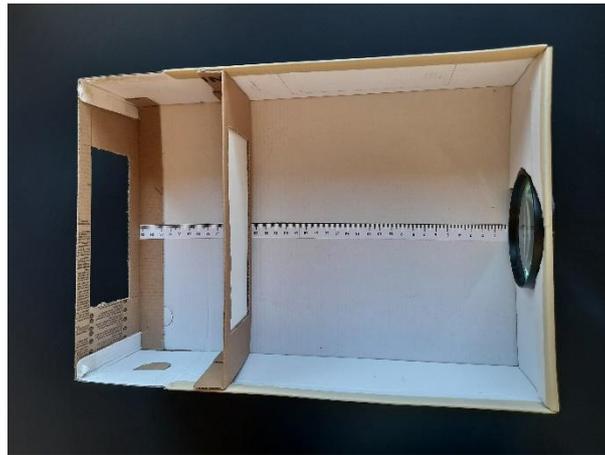


Figura 3-4. Sistema fotográfico operativo.

Una vez está colocado el sistema fotográfico, ya se puede comenzar a utilizar:

1. Primero se sitúa en dirección a la escena que se quiera fotografiar.
2. Después, se mueve la pantalla en el interior de la caja hasta que la imagen quede perfectamente enfocada.
3. Se coloca la tapa sobre la caja y se observa por la ventana que se había recortado detrás, comprobando que ha quedado bien enfocada. Si no lo está, se rectifica la posición.
4. Se vuelve a abrir la tapa y se anota el resultado de la medida, si se está realizando la experiencia de manera cuantitativa.

Durante la toma de medidas hay diferentes maneras de proceder. Por ejemplo, se puede intentar medir la distancia focal directamente eligiendo fotografiar un objeto muy lejano, pero también se puede medir de manera indirecta, utilizando la ecuación (1) y midiendo la distancia entre la lente y ambos objeto e imagen. También se puede hacer ambos procedimientos, primero midiendo la distancia focal y luego las distancias de la lente a objeto e imagen, para así comprobar que la ecuación funciona para la lente utilizada, o incluso estimar la distancia del objeto real, lo que elimina la necesidad de tener además un metro. Cualquiera de estos procedimientos es válido, y se puede incluso dejar a los alumnos que elijan ellos mismos la manera de proceder, lo que ayudará a que desarrollen las competencias mencionadas anteriormente.

3.1.5 Resultados obtenidos

Para tomar las medidas se utilizó una bombilla como objeto para proyectar sobre la pantalla. Cuanto más luminoso sea el objeto más exactas serán las medidas, porque se puede enfocar mejor. Los resultados se presentan en la tabla siguiente: los datos tomados en negro, los cálculos en gris oscuro.

s /cm	s' /cm	f' /cm	$\Gamma' (s'/s)$
-97	30.5	23.2	-0.31
-106.5	29.5	23.1	-0.28
-123.5	28.5	23.2	-0.23
-151.5	27.5	23.3	-0.18
-189	26.5	23.2	-0.14

La medida de la distancia focal es bastante buena, todos los valores salen alrededor de 23,2 cm, que además es la media de todos ellos.

A continuación se muestran algunas fotografías del objeto y la imagen correspondiente utilizando el sistema fotográfico. Se puede apreciar que efectivamente, la imagen aparece invertida.



Figura 3-5. Fotografías del objeto a la izquierda, una rosa blanca, y su imagen a la derecha, obtenida a través del sistema fotográfico fabricado.



Figura 3-6. Fotografías del objeto a la izquierda, una panorámica de las afueras de Valladolid y el estadio, y su imagen a la derecha, obtenida a través del sistema fotográfico fabricado.

3.2 PROYECTOR

Los proyectores tienen por objetivo formar la imagen de un objeto generalmente pequeño en una pantalla grande. La imagen normalmente se forma sobre la pared o una pantalla difusora, de

manera que varias personas puedan verla simultáneamente. De hecho, es el instrumento que se usa en el cine y en muchas clases para proyectar la pantalla del ordenador, por lo que es un aparato cotidiano para los alumnos, aunque probablemente no conozcan cómo funciona por dentro.

Hace unos años también se usaba a menudo para proyectar una imagen ampliada de las fotografías reveladas en diapositivas, cuando no había cámaras digitales, aunque es posible que los alumnos no hayan visto ninguno, ya que, con las cámaras digitales y los ordenadores, estos aparatos han caído en desuso. Sin embargo, es en estos proyectores donde mejor se puede comprobar su estructura, porque el objeto, que es la propia diapositiva, se puede ver.

3.2.1 Fundamento teórico

Esta sección está extraída de (Casas, 1994).

Los sistemas de proyección se parecen en gran medida a los sistemas fotográficos vistos en la *sección 3.1.1*, ya que los más simples constan de una lente convergente, de distancia focal f' , que si se aproxima a lente delgada, también cumple la relación (1):

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s}$$

donde f' es la distancia focal de la lente, s es la distancia de la lente al objeto, y s' la distancia de la lente a la imagen del objeto, siempre teniendo en cuenta el criterio de signos de las normas DIN.

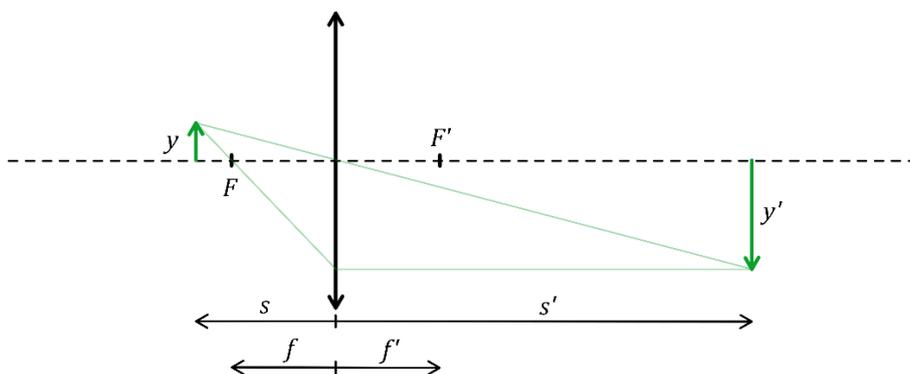


Figura 3-7. Dibujo esquemático del funcionamiento del objetivo de un proyector.

Lo que diferencia un sistema de proyección de un sistema fotográfico es que en el primero se desea ampliar el objeto, por ejemplo, una diapositiva en una pantalla blanca difusora, mientras que en el segundo se desea reducirlo, por ejemplo, un paisaje en una pantalla para fotografiarlo. Esta diferencia se puede apreciar en la Figura 3-8. Geométricamente, la diferencia está en el lugar donde se sitúa el objeto respecto de la lente. En los sistemas fotográficos, el objeto se encuentra muy

alejado, a una distancia mayor de $2f$, mientras que en los sistemas de proyección, el objeto se sitúa a una distancia menor que $2f$, aunque siempre mayor que f , ya que de lo contrario no se formaría imagen real. Cuanto más cercano a f sea el valor de la posición del objeto, más grande será la imagen obtenida, y más lejos se situará, como se puede observar en la Figura 3-9.

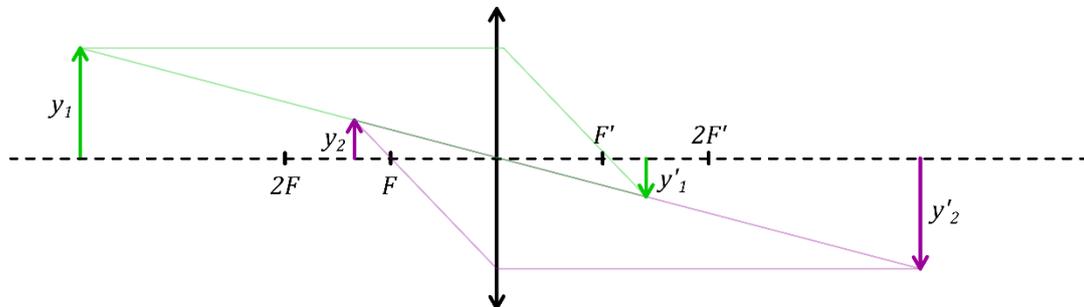


Figura 3-8. Comparación entre un sistema de proyección, en morado, y un sistema fotográfico, en verde.

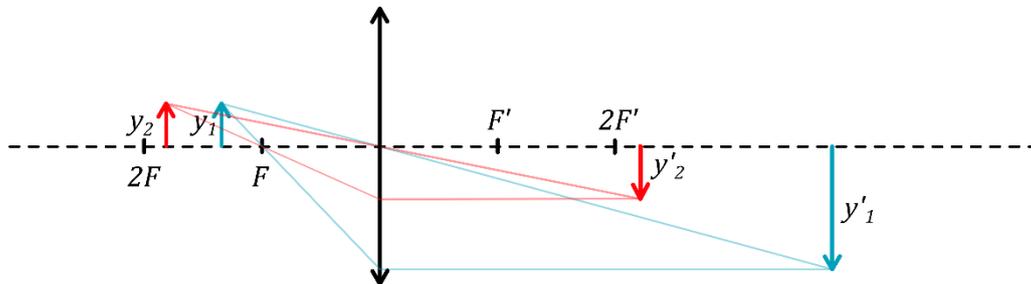


Figura 3-9. En un proyector el objeto está situado entre $2F$ y F , para que la imagen sea mayor. Cuanto más cerca se encuentra el objeto de F , más grande será su imagen.

El aumento lateral Γ' que proporciona la lente se obtiene mediante la misma ecuación que para el caso fotográfico (2). Es decir, es la relación entre el tamaño del objeto y y el tamaño de la imagen y' , que, para lentes delgadas, coincide con la relación entre las distancias a las que se encuentren el objeto y la imagen de la lente, s y s' , respectivamente:

$$\Gamma' = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

3.2.2 Material empleado

Para realizar la experiencia se puede emplear la misma estructura que en el sistema fotográfico, ya que lo único que se modifica es el soporte, que ahora no lleva la pantalla donde se forma la imagen, sino que llevará el móvil, cuya pantalla será el objeto que se desea proyectar. Por lo tanto, si se quiere realizar desde cero, los materiales que se deben utilizar son los mismos que se describieron anteriormente en la sección 3.1.2, pero sin necesidad del papel vegetal. En este caso, además, es

especialmente importante que el diámetro de la lente sea grande, ya que la imagen va a ser de por sí bastante tenue. Si además se elige una lente pequeña, es posible que la imagen no se llegue a distinguir con propiedad.

3.2.3 Construcción

Como ya se ha dicho anteriormente, la estructura que se emplea para el proyector es la misma que para el sistema fotográfico, de manera que se pueden seguir los mismos pasos que se han descrito anteriormente en la *sección 3.1.3*, cambiando el soporte. En el caso visto anteriormente, se necesitaba una pantalla para generar la imagen. En el caso del proyector, se necesita un soporte para el objeto. Será la construcción de éste lo que se detalle en este apartado.

Lo primero es elegir qué objeto proyectar. Es necesario que esté muy bien iluminado, ya que, como la imagen proyectada estará ampliada, la intensidad de la luz será baja. Para este trabajo se ha elegido proyectar la pantalla de un móvil, ya que es un objeto que prácticamente todos los alumnos tienen, lo usan muy a menudo en su día a día y ver proyectada la pantalla en la pared les resultará sin duda interesante. También se pueden utilizar diapositivas o incluso papeles, como se hacía antiguamente con los proyectores de transparencias, pero habría que encontrar un modo de iluminarlas de manera adecuada. Por esta razón el más sencillo de utilizar es el móvil, además de que probablemente es el que más despierte la curiosidad en los alumnos.

Una vez sabemos que queremos proyectar la pantalla de un móvil, hay que construir un soporte para colocarlo con la pantalla paralela a la lente convergente. Para ello se puede simplemente emplear cartón, ya que es fácil de cortar y manipular y puede mantenerse vertical sin problema incluso aunque esté soportando el peso de un móvil.

En este caso se ha empleado dos estructuras. Una de ellas es el soporte, en la Figura 3-12, semejante al del sistema fotográfico pero sin necesidad de ventana para colocar el papel vegetal. El ancho es igual al de la caja utilizada, de manera que se mantenga en vertical con mayor facilidad. La otra estructura es donde se colocará el teléfono móvil, que tiene un hueco por donde se verá la pantalla e irá pegada al soporte (Figura 3-13). Si se va a utilizar para medir, es necesario hacer un corte en la estructura para poder ver exactamente la posición de la pantalla del móvil en la cinta métrica pegada al suelo (Figura 3-15).

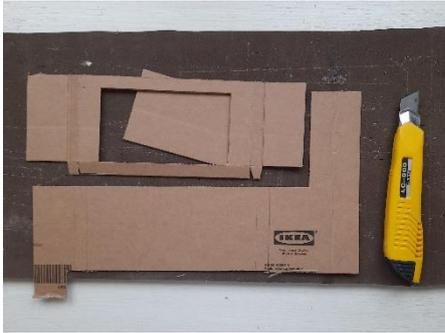


Figura 3-10. Se recorta la estructura de sujeción.



Figura 3-11. Se pega la estructura de sujeción con cola blanca.

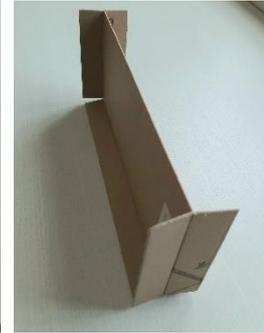


Figura 3-12. Soporte para mantener el móvil vertical.

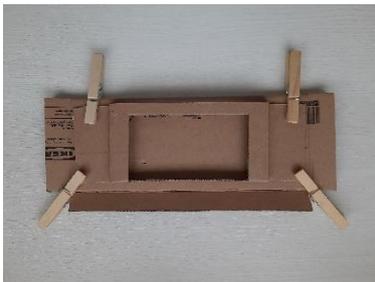


Figura 3-13. Se pega la estructura al soporte.



Figura 3-14. Estructura para sujetar el móvil finalizada.



Figura 3-15. Se debe cortar parte de la base para asegurarnos de que se puede medir la posición.

3.2.4 Procedimiento experimental

Dado que se ha realizado el experimento de tal manera que sea desmontable, antes de realizar las medidas hay que colocar todos los componentes:

1. Se coloca la lupa correspondiente en el agujero a medida de la caja, de tal manera que quede lo más perpendicular posible al eje óptico dibujado.
2. A continuación, se coloca el soporte con el móvil en el interior de la caja, también perpendicular al eje óptico, para que la imagen sea lo más nítida posible.

Una vez está colocado el proyector, ya se puede comenzar a utilizar:

1. Primero se sitúa en dirección a la pared o pantalla donde se quiere proyectar la imagen.
2. Después, se mueve el soporte con el móvil en el interior de la caja hasta que la imagen de la pared quede enfocada. Hay que tener en cuenta que los bordes de la pantalla del móvil van a quedar desenfocados, ya que su distancia a la lente es algo mayor que la parte central de la pantalla.
3. A continuación, se pueden realizar medidas, si no se está realizando la experiencia de forma solamente cualitativa.



Figura 3-16. Proyector operativo.

De la misma manera que ocurría con el sistema fotográfico, con el proyector hay diferentes maneras de proceder para la toma de medidas. Se puede medir directamente la distancia focal de la lente utilizada enfocando la imagen de un objeto muy lejano y midiendo la distancia de la lente a dicha imagen. Sin embargo, si no se quiere retirar la lente del proyector, también se puede medir de manera indirecta, utilizando la ecuación (1). Esta misma ecuación se puede utilizar para estimar la distancia de la imagen o del objeto conociendo la distancia focal. Cualquiera de estos procedimientos es válido, y se puede dejar a los alumnos que elijan ellos mismos la manera de proceder, lo que ayudará a que desarrollen las competencias mencionadas anteriormente. Además, se puede medir el aumento lateral mediante la ecuación (2) si se desea, que cambia al modificar la distancia de la lente con la pantalla del móvil, algo que es más fácil realizar en el proyector que en el sistema fotográfico. Por ejemplo, utilizando una aplicación que convierte el móvil en una regla, y midiendo la distancia proporcional proyectada en la pared, y comprobando si coincide con el calculado a partir de las distancias s y s' .

3.2.5 Resultados obtenidos

Las medidas deberían ser inversas a las obtenidas en el sistema fotográfico, dado que es el mismo sistema. Sin embargo, si se compara con las de la sección 3.1.5, son algo diferentes. La explicación es que, debido a que la imagen obtenida es muy tenue, el error es mucho mayor, y por lo tanto las medidas obtenidas para el proyector son menos exactas. Sin embargo, se puede observar que, aun así, la distancia focal obtenida es bastante buena.

s/cm	s'/cm	y/cm	y'/cm	f'/cm	$\Gamma' (y'/y)$	$\Gamma' (s'/s)$
-30.8	95.5	4.0	-12.3	23.3	-3.1	-3.1
-29.8	102	4.0	-13.3	23.1	-3.3	-3.4
-28.8	116	4.0	-15.7	23.1	-3.9	-4.0
-27.8	132	4.0	-18.5	23.0	-4.6	-4.7
-27.3	148	4.0	-21.2	23.0	-5.3	-5.4

Por otro lado, el aumento lateral calculado a partir de las distancias de objeto e imagen y de los tamaños de objeto e imagen son muy parecidos, por lo que también se pueden realizar con los alumnos.

3.3 TELESCOPIO

Los telescopios son instrumentos que se utilizan para la observación de objetos lejanos. Estos instrumentos se llevan conociendo desde hace varios siglos. De hecho, Galileo utilizó un telescopio bastante simple para la observación de cuerpos celestes como la luna, el sol, y los diferentes planetas. Existen varios tipos de telescopios: el telescopio astronómico; el telescopio de Galileo; el telescopio terrestre, que es uno astronómico al que se le añade un módulo inversor...

En realidad, en la actualidad sigue habiendo muchos instrumentos ópticos cuya parte fundamental es un telescopio, al que se le añaden otros sistemas para mejorarlos en determinadas situaciones. Por ejemplo, los prismáticos es uno de ellos. Los prismáticos resuelven el problema de la inversión y de la longitud de los telescopios utilizando prismas, que son los que dan lugar al nombre. Los prismas funcionan como espejos mediante el mecanismo de reflexión total, que sí que se estudia en bachillerato. Éstos cumplen la doble función de invertir la imagen para que sea más cómodo utilizarlos al observar objetos terrestres y de reducir considerablemente el tamaño del telescopio, ya que el camino óptico es el mismo, pero se reduce la longitud total entre lentes en las reflexiones.

Este tipo de instrumentos son bastante cotidianos para los alumnos. De la misma manera, saben que existen, los han utilizado al menos una vez, pero probablemente no saben cómo funcionan, ni que pueden entender su funcionamiento básico mediante las nociones de óptica geométrica que están estudiando.

3.3.1 Fundamento teórico

Esta sección está extraída de (Casas, 1994).

Los telescopios están formados por dos sistemas: un objetivo y un ocular. En caso del telescopio astronómico, ambos son lentes convergentes. La manera de situarlos depende de lo que se quiera observar, pero dado que la finalidad del telescopio es observar objetos lejanos, se sitúan de tal manera que el foco imagen del objetivo y el foco objeto del ocular coinciden, $F'_{ob} \equiv F_{oc}$, tal y como se muestra en la imagen de la Figura 3-17.

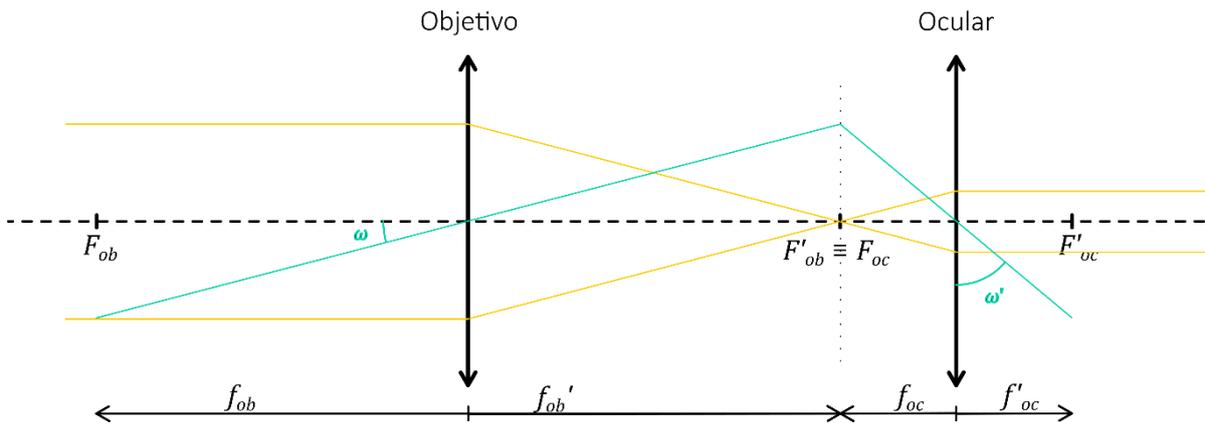


Figura 3-17. Cuando un telescopio opera con objetos en el infinito, el foco imagen del objetivo coincide exactamente con el foco objeto del ocular.

De esta forma, los rayos provenientes del objeto en el infinito llegarían paralelos hacia el objetivo, y saldrían paralelos por el ocular.

El aumento visual Γ' , que, como en todos los instrumentos de visión, se calcularía a través del cociente de las tangentes de los ángulos desde los cuales se ve un objeto sobre el eje con y sin instrumento ω' y ω respectivamente, en este caso sería:

$$\Gamma' = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} = -\frac{f'_{ob}}{f'_{oc}} \quad (3)$$

Se puede observar que el aumento visual que se obtiene tiene signo negativo, lo que físicamente se traduce en que la imagen que se obtiene es invertida. Es por esta razón que este tipo de telescopio se utiliza para la observación astronómica, de ahí su nombre, ya que observar un cuerpo celeste invertido carece de importancia, no ocurriendo lo mismo con objetos terrestres, de ahí que los prismáticos utilicen prismas para invertir de nuevo la imagen para el usuario. Además, para que se pueda ver la imagen ampliada, $\Gamma' > 1$ y por tanto $f'_{ob} > f'_{oc}$.

Esta fórmula de aumentos solamente es válida para objetos en el infinito, pero, ajustando la distancia entre las lentes también se pueden utilizar para la observación de objetos cercanos, en cuyo caso los aumentos del telescopio ya no vendrían dados por la ecuación (3), ya que F'_{ob} y F_{oc} ya no coinciden.

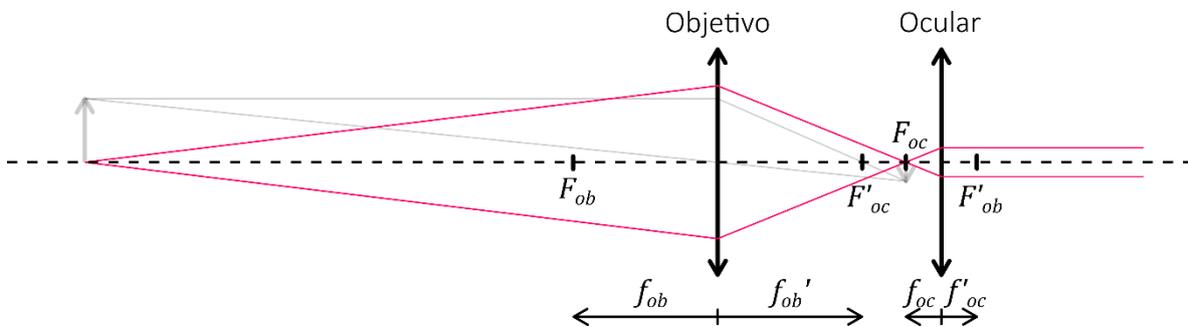


Figura 3-18. Cuando un telescopio opera con objetos relativamente cercanos, el foco imagen del objetivo ya no coincide con el foco imagen del ocular.

3.3.2 Material empleado

Para la construcción de un telescopio astronómico se emplean los siguientes materiales:

- **Dos lupas.** Dado que es la parte esencial del sistema, es necesario elegir las cuidadosamente para que el telescopio funcione correctamente. Para ello, hay que dirigirse a la ecuación (3) y buscar una relación de distancias focales adecuada. Con dos lentes con distancias focales diferentes el telescopio funcionaría, pero para hacer el aumento visual Γ' lo más grande posible, $f'_{ob} \gg f'_{oc}$. Ahora bien, se podría pensar que, eligiendo una lupa con una distancia focal muy larga para que funcione como objetivo, el telescopio sería mucho más eficiente. Matemáticamente es correcto que el aumento sería mayor, pero hay que tener en cuenta que las lentes deben estar separadas entre sí una distancia de $f'_{ob} + f'_{oc}$ como mínimo, lo que resultaría en un telescopio de una longitud demasiado grande para ser manejable. Lo mejor es utilizar una lente de distancia focal media, unos 25 cm, para que funcione como objetivo, y buscar otra lente con una distancia focal lo más pequeña posible. Para la realización de este trabajo se utilizaron dos lentes del mismo diámetro, una de ellas distancia focal 95 mm y la otra con 270 mm. Si se utilizaran lentes de distinto diámetro, habría que pensar cómo acoplarlas a los cilindros, por ejemplo, utilizando el cuello de una botella de plástico.
- **Dos cilindros.** Estos cilindros tienen que cumplir una serie de características:

- Sus **diámetros** deben ser tales que se pueda conseguir que uno se deslice por el interior del otro sin que quede demasiado holgado.
- Sus **diámetros** deben ser algo superiores a las lentes elegidas.
- Si se colocan uno detrás de otro, su **longitud** debe ser mayor que $f'_{ob} + f'_{oc}$ para poder observar objetos relativamente cercanos.

Para la realización de este trabajo se ha utilizado dos latas de patatas, ya que los cilindros son de cartón y son fácilmente manipulables para que cumplan las características anteriores de los diámetros.

- Unas **tijeras**.
- Una **regla, metro o cinta métrica**, que se utilizará para realizar medidas.
- Un **lapicero o bolígrafo** para marcar las medidas para cortar.
- **Cartulina negra**.
- **Cola blanca**, para pegar cartón y/o cartulina y **pinzas de la ropa** para dejar secando el pegamento.
- **Cinta aislante** o similar.
- Dos **cintas métricas de papel**, pueden ser de propaganda o bien impresas², en cuyo caso siempre al 100% de tamaño para que las medidas sean las correctas.

3.3.3 Construcción

Se debe de comenzar con el **cilindro interior**. Primero se quita la base de la lata, con un cúter o similar (Figura 3-19). Como las lupas que se utilizaron son del mismo diámetro, se hizo que este cilindro coincidiera exactamente con el diámetro de la lupa que se adjuntará a su extremo³. Para ello, tras marcar con un bolígrafo (Figura 3-20), se realizó un corte en el cilindro a lo largo, procurando que fuese lo más recto posible (Figura 3-21). Para comprobar cuál era exactamente el diámetro que hacía encajar la lupa se colocó ésta en un extremo, no sin antes recortar una pequeña sección por la que sacar el mango de la lupa. Se ajusta el cartón lo máximo posible alrededor (Figura 3-23), y se realiza una marca con el bolígrafo en el borde justo donde comienza a superponerse (Figura 3-24). Se mide el perímetro y se hace una marca a la misma altura en el otro extremo. Se

² Cinta métrica imprimible. Recuperado el 20 de mayo de 2021 de https://www.gycuniformes.com/images/Tabla_Medidas/Cinta_Metrica_GC.pdf

³ En caso de no utilizarse lupas del mismo diámetro, se debería comenzar acoplando la lente de diámetro mayor.

traza una línea recta entre las dos marcas y se recorta de nuevo, procurando igualmente que el corte quede lo más recto posible, ya que habrá que unir las a continuación.



Figura 3-19. Se quita la base de la lata.



Figura 3-20. Se marca una línea recta a lo largo de la lata.



Figura 3-21. Se realiza un corte recto a lo largo de la línea dibujada.



Figura 3-22. Se recorta una sección para sacar el mango de la lupa.



Figura 3-23. Se ajusta el cilindro al diámetro de la lupa.



Figura 3-24. Se dibuja una marca con el cilindro ajustado a la lupa.

Una vez el cilindro interior está recortado, hay que unir los extremos. Hay diversas formas de hacerlo. En el caso del telescopio que se ha realizado para este trabajo, se ha utilizado una cartulina de color negro para reforzar el interior y que no ceda la estructura por el corte. Además, al ser de color negro, contribuye a eliminar los reflejos que puedan existir en el interior del telescopio. Para recortar la cartulina, si se dispone de una cinta métrica flexible, como las de costura pero con resolución de 1 mm al menos, se puede medir el perímetro interior de la sección del cilindro, por ambos lados. De lo contrario, se puede introducir directamente la cartulina en el interior, ajustar bien y marcar con un lapicero (Figura 3-25), igual que se hizo con el cartón del cilindro sobre la lupa. Después, se recorta la cartulina (Figura 3-27) y se coloca con el corte en el lado opuesto al corte del cartón cilíndrico (Figura 3-28) con un poco de cola blanca por toda la superficie para pegarlo bien. Con un poco de cinta aislante o similar, se pega alrededor del cilindro por el exterior, para fijar bien la estructura. En el caso de no usar cartulina en el interior, es necesario pegar cinta aislante también en el interior del cilindro, para que el corte no ceda hacia dentro y se desmonte.



Figura 3-25. Ajustar la cartulina al interior del cilindro y marcar.



Figura 3-26. Unir las marcas en la cartulina con una línea recta.



Figura 3-27. Recortar la cartulina.



Figura 3-28. Se coloca el corte de la cartulina opuesto al corte la lata.



Figura 3-29. Después de pegar la cartulina, se sujeta con cinta de carrocer.

El siguiente paso es construir el **cilindro exterior**. De nuevo, se cortó la base de la lata, para dejar únicamente la pared del cilindro. Para que el diámetro sea el correcto y deslice sobre el anterior, con fricción para que no se caigan, se tomaron las medidas directamente sobre el cilindro interior ya construido, en vez de sobre la lupa como se hizo antes (Figura 3-30). Primero se realizó un corte recto a lo largo del cilindro, y se envolvió con éste el cilindro anterior. Tras comprobar que queda bien ajustado, se marca la zona donde se superponen, por los dos lados, y se traza una línea con el lapicero como guía para recortar. Hay que tener en cuenta que es preferible que queden un poco holgados a que no encajen, ya que lo primero se puede remediar pegando papel o una cartulina por el exterior del cilindro interior.



Figura 3-30. Para el cilindro exterior, se toman las medidas directamente sobre el cilindro interior.



Figura 3-31. Pegar tiras de cartulina en la boca del cilindro hasta que la lupa se ajuste bien.

Los siguientes pasos son los mismos que para el cilindro interior: se recorta un trozo de cartulina negra con las medidas del perímetro interior de este cilindro, y se pega en el interior, procurando que los cortes del cartón y la cartulina queden separados; se ajusta el cilindro por fuera mediante cinta aislante o similar. El último paso es hacer encajar la lupa. Primero se cortó una pequeña sección en el extremo, para sacar el mango de la lupa, como ya se hizo para el cilindro interior (Figura 3-22). Como este nuevo cilindro tiene un diámetro algo superior, hay que cortar uno o dos trozos de cartulina para pegarlos en la boca del cilindro, los necesarios hasta que la lupa quede ajustada (Figura 3-31).⁴

Por último, se comprobó que los dos cilindros quedaban bien ajustados. En caso contrario, habría que ensanchar el cilindro interior, por ejemplo, pegando papel o cartulina alrededor. Las lupas también deben quedar ajustadas en los cilindros. Si no ocurre, se deben pegar tiras de cartulina en el interior del cilindro.

Para poder realizar las medidas con más facilidad, se utilizaron dos cintas métricas de papel pegadas en cada cilindro. Cada uno irá pegado a un cilindro, a lo largo de éste, con el 0 en la posición de cada lupa, de manera que se puedan sumar los valores de cada uno.



Figura 3-32. Se pega una cinta métrica de papel a lo largo de cada cilindro.

⁴ En caso de utilizar lupas de distintos diámetros, habría que añadir un paso en este punto. Se debe utilizar un método distinto para acoplar esta lupa pequeña al cilindro grande.

3.3.4 Procedimiento experimental

Dado que se ha realizado el telescopio de tal manera que las lupas sean desmontables, antes de realizar las medidas hay que colocarlas. Como ambas son del mismo diámetro, ambas encajan en ambos extremos, de manera que no es importante cuál va en qué cilindro.



Figura 3-33. Se colocan las lupas en cada extremo de los tubos.

Una vez colocadas las dos lupas, hay que buscar un objeto lejano, para que el telescopio funcione como en la Figura 3-17, y tratar de enfocararlo moviendo un cilindro sobre otro para modificar la distancia entre las lentes. Hay que tener algo de cuidado en esta parte, ya que el telescopio debe formar la imagen en el infinito, es decir, a través de él, nosotros deberíamos ver las imágenes como provenientes del infinito. Dicho de otro modo, la primera imagen, formada tras el objetivo, debe formarse *siempre* en la posición del foco del ocular. El problema es que nuestros ojos son capaces de acomodarse y enfocar objetos a muy distintos rangos de distancia, por lo que podremos ver imágenes bastante

cercanas, pero el telescopio no estaría funcionando de la manera correcta.

Para evitar este inconveniente, lo mejor es comenzar con las lentes muy juntas, e ir las separando poco a poco hasta que la imagen que se observe sea nítida. También conviene mantener ambos ojos abiertos y comprobar que el objeto lejano, visto con un ojo, y su imagen, vista con el otro, están nítidos *simultáneamente*. En este momento, se comprueba la distancia, y, si el objeto era suficientemente lejano, ésta debe coincidir con la suma de las distancias focales de las lentes ocular y objetivo, es decir $f'_{ob} + f'_{oc}$.

Igualmente, se puede comprobar que si se invierten las posiciones de las lupas, de tal manera que $f'_{ob} < f'_{oc}$, entonces la imagen tendrá un aumento visual $|\Gamma'| < 1$ y por tanto la imagen se verá más pequeña que el objeto.

Se puede calcular el aumento visual de este telescopio utilizando un sistema de medida situado suficientemente lejos. Este sistema puede ser simplemente una valla, con los barrotes equiespaciados, como las que suele haber en los patios de los institutos. La fotografía puede realizarse de tal modo que se observe la valla directamente y también a través del telescopio. De esta forma, se puede contar el número de intervalos entre barrotes observados sin telescopio que

cabén en un intervalo entre barrotes a través del telescopio, y de esta manera realizar una escala. Sin embargo, en bachillerato habitualmente no se estudian los aumentos visuales del telescopio, por lo que en principio este procedimiento puede quedarse por encima del nivel de los alumnos.

Sin embargo, si se desea analizar los aumentos, la fotografía se podría analizar con un software que permita conocer la cantidad de píxeles que hay en una determinada sección de la fotografía. El programa *Tracker*, para el ordenador (Tracker, s.f.), permite hacer esto. Este programa es un paquete de análisis de vídeo construido sobre una plataforma *Java Open Source Physics(OSP)*, diseñado para ser utilizado en la enseñanza de la Física. Actualmente no hace falta instalarlo, sino que se puede utilizar online, algo interesante en un centro educativo.

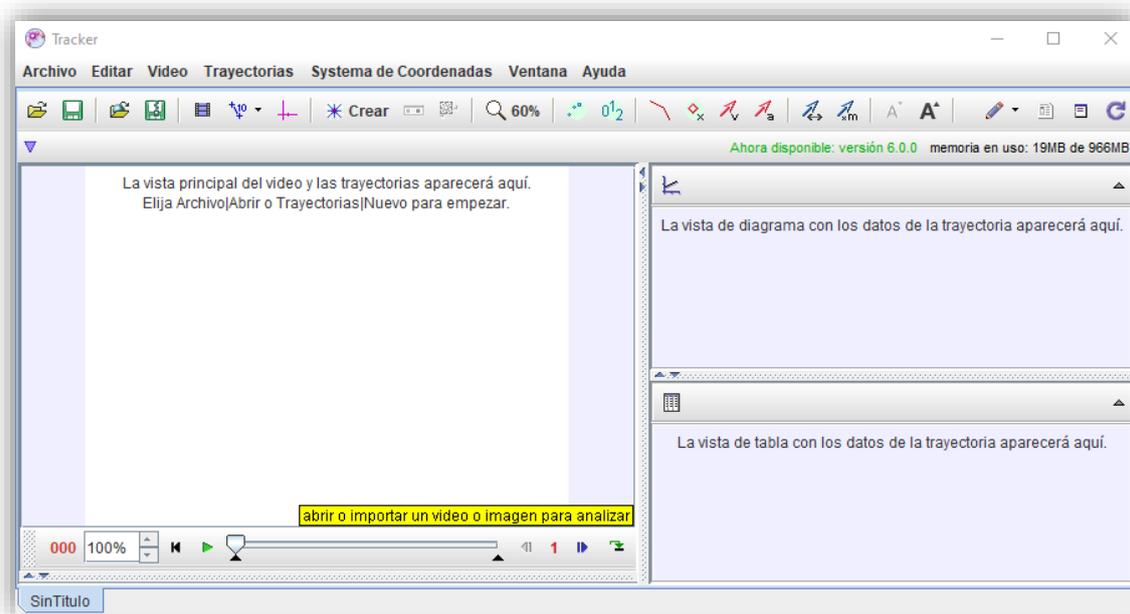


Figura 3-34. Interfaz gráfica del programa Tracker.

Una de sus muchas funciones es que permite medir la cantidad de píxeles marcada una cierta longitud de la imagen. Para ello, se comienza simplemente cargando la imagen en el programa. Una vez está cargada, se pulsa el botón *Crear > Herramienta de medida > Cinta métrica*. Por último, hay que establecer los límites de la longitud que se desea medir. Por defecto, Tracker mide las distancias en píxeles, de manera que si no se establece ningún tipo de calibración será lo que aparezca en pantalla. Sin embargo, la unidad que aparece por defecto son los metros. Para cambiarlo, *Systema de Coordenadas > Unis... > L length*, se cambia *m* por *px*.

Además de Tracker se puede utilizar otros programas que midan la posición del cursor en píxeles, por ejemplo, *Paint*, que suele venir preinstalado en todos los ordenadores. Tracker es un programa muy interesante que permite hacer una gran variedad de experimentos en Física, pero lo cierto es

que comenzar a aprender a utilizarlo es difícil. Para esta actividad simplemente se usa la función de medida, y es muy sencilla de realizar, así que en principio no debería haber problema, pero se puede considerar utilizar otros programas por esta razón.

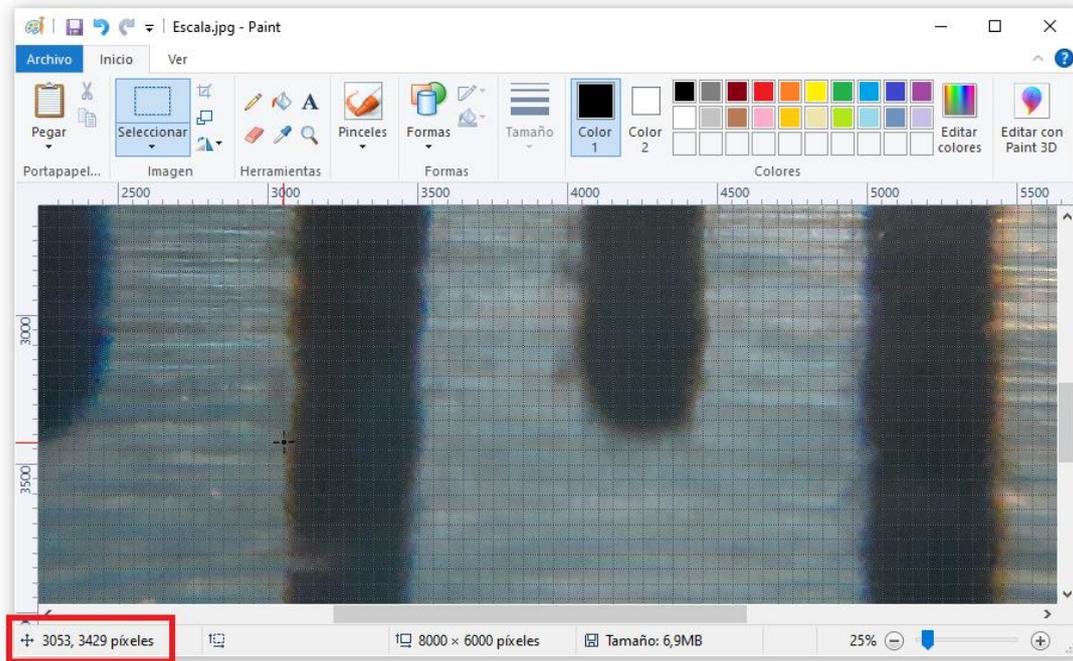


Figura 3-35. El programa Paint da la posición del cursor en píxeles (x,y).

3.3.5 Resultados obtenidos

Lo primero es enfocar un objeto lejano. Se eligieron objetos a más de 400 m de distancia, ya que en el rango de los 10 m aún daba medidas cercanas a 38 cm. Comenzando con el telescopio en forma compacta, se van separando las lupas hasta que se consigue ver nítido a través de ellas. Se anota la distancia y se repite la experiencia 4 veces, obteniendo resultados muy semejantes. La media de todas ellas es una distancia de 36,9 cm. Dado que $f'_{ob} + f'_{oc} = 27 + 9,5 \text{ cm} = 36,5 \text{ cm}$, la medida se acerca bastante.

A continuación, se comprueba la longitud de enfoque para objetos más cercanos:

Distancia entre ocular y objetivo / cm	Distancia del objeto al objetivo / m
38,8	4,4
39,1	3,3
39,9	2,8
40,5	2,5
41,6	1,8
42,6	1,5

A continuación, se procede a estudiar los aumentos del telescopio.



Figura 3-36. Telescopio enfocando a una valla.

La fotografía de la Figura 3-36 es la que se ha utilizado para el análisis.

Lo primero es calcular la medida de cada intervalo entre barrotes a través del telescopio y sin él. En este caso se ha utilizado una medida de más de un intervalo para mejorar la medida: simplemente se mide este resultado entre los intervalos que se han medido para obtener el resultado de los píxeles que hay en cada uno de ellos.



Figura 3-37. Se analizan los píxeles que hay en 17 intervalos entre barrotes de la parte sin telescopio de la fotografía anterior.



Figura 3-38. Se analizan los píxeles que hay en 11 intervalos entre barrotes de la parte a través del telescopio de la fotografía anterior.

Se calcula el tamaño de objeto e imagen:

$$y = \frac{200,4 \text{ px}}{17} = 11,7 \text{ px}$$

$$y' = \frac{295,8 \text{ px}}{11} = 26,9 \text{ px}$$

Por lo tanto, el aumento visual del telescopio es

$$\Gamma' = \frac{26,9}{11,7} = 2,3$$

Comparando con el aumento visual a partir de las distancias focales de las lupas,

$$\Gamma' = \frac{270}{95} = 2,8$$

se obtiene un aumento algo menor, aunque hay que recordar que los últimos aumentos están calculados para unas condiciones particulares que son difíciles de obtener en las condiciones en las que se tomó la fotografía.

3.4 MICROSCOPIO SIMPLE

Un microscopio es una herramienta que nos permite observar objetos demasiado pequeños para poder distinguirlos correctamente a simple vista. Existen distintos tipos de microscopios: microscopio óptico, microscopio electrónico, microscopio de efecto túnel... Como estamos aplicando conceptos de óptica geométrica, nos centraremos en los **microscopios ópticos**. Dentro de los microscopios ópticos se puede hacer una distinción entre los microscopios simples y los compuestos.

El **microscopio simple** es aquel que se compone únicamente por una lente convergente, mientras que el compuesto posee varias lentes diferentes. Un ejemplo de microscopio simple puede ser una lupa, que nos permite observar objetos pequeños ampliados. Cuanto menor es la distancia focal de la lente, mayor será el aumento que es capaz de generar.

Los microscopios suelen ser instrumentos que sin duda generan curiosidad en la gran mayoría de las personas, ya que con ellos se puede observar elementos muy pequeños que a simple vista no se pueden apreciar, desde simples texturas a células y microorganismos. Sin embargo, la mayoría asocia un microscopio a algo caro, grande y difícil de manejar y guardar, que serían los microscopios compuestos comerciales.

Es cierto que, en general, el aumento y la calidad conseguidos por un microscopio compuesto son mucho mayores que los que se puede conseguir con un microscopio simple, pero se pueden

alcanzar aumentos muy grandes con una calidad bastante buena si se elige la lente de manera adecuada.

Hace unos años se presentó una idea para la manufacturación de distintos microscopios simples muy potentes y baratos (Cybulski, Clements, & Prakash, 2014), que se ha pensado utilizar para el diagnóstico de enfermedades como la malaria en lugares del mundo con escasos recursos económicos. En (del Mazo, 2019) utilizan microesferas de vidrio de las que se utilizan para pinturas reflectantes, que son de un radio inferior a 1 mm. También se pueden utilizar esferas algo más grandes, o la pequeña lente que llevan los lectores de CD y DVD para focalizar el láser en un punto específico del disco, o las lentes colimadoras de los punteros láser comerciales.

Recientemente se ha presentado un artículo (Vos, Blesa, & Betz, 2021) donde construyen un microscopio mediante piezas de LEGO para utilizar en un marco educativo, con niños entre 9 y 13 años. Para construir este microscopio utilizan como objetivo una lente del módulo de la cámara de un teléfono móvil, que tiene una resolución muy buena. Además, en este mismo artículo se hace un estudio donde se pone de manifiesto los beneficios de la interacción de los alumnos con el microscopio, incluida la construcción de ciertas partes y la realización de experiencias sencillas.

En el presente trabajo se propone la realización de un microscopio simple utilizando una lente de los lectores de DVD de un ordenador, que da resultados bastante buenos aunque la óptica es peor que la de una cámara fotográfica de un móvil.

3.4.1 Fundamento teórico

Esta sección está extraída de (Casas, 1994).

Un microscopio simple consta de una lente convergente que proporciona a quien observa a través de ella una imagen virtual y directa de un objeto que se ve bajo mayor ángulo del que se vería sin la lente, es decir, aumentada.

Para que se den estas condiciones de observación, el objeto debe colocarse entre el foco objeto de la lente y la propia lente, o de lo contrario estaría operando como un sistema de proyección o fotográfico de los que ya se habló con anterioridad en las *secciones 3.1 y 3.2*.

El aumento lateral del microscopio simple se puede expresar mediante la ecuación (2),

$$\Gamma' = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

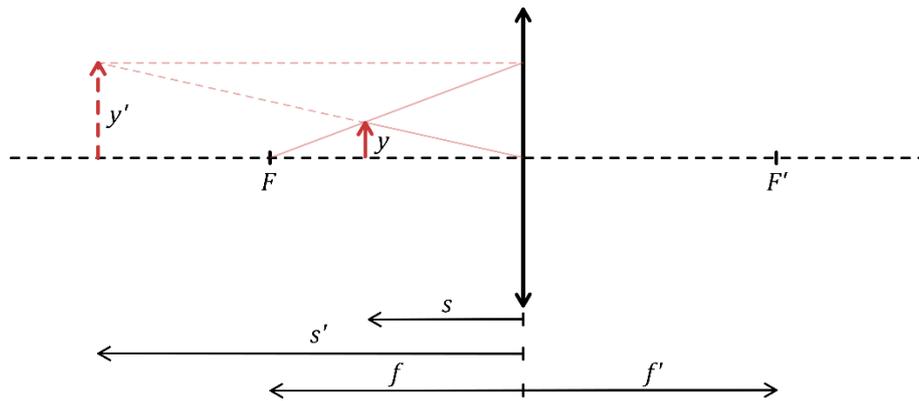


Figura 3-39. El microscopio proporciona una imagen ampliada virtual y directa del objeto gracias a que éste se sitúa entre la lente y el foco objeto F .

que en este caso es positivo, ya que la imagen que se forma *no está invertida*.

En el caso del telescopio se podía dar un aumento único cuando operaba en el infinito, pero en el caso de visión cercana, esto es diferente. El aumento de la lupa no se puede fijar porque depende de las condiciones de observación que hacen que la imagen se forme más cerca o más lejos, cambiando el ángulo de observación. Por ello se sigue el siguiente convenio para caracterizar los aumentos de las lupas: se coloca el objeto en el foco de la lente, y se toma como distancia de observación al objeto sin instrumento 250 mm. Así, los *aumentos comerciales* serían

$$N \times = \frac{250}{f'} \quad (4)$$

con la distancia focal de la lente f' en milímetros. Estos son los aumentos que se emplean para caracterizar a las lupas.

La lente que se va a emplear en este caso *no es una lente delgada*, de manera que no se puede aplicar la ecuación (1) y el aumento lateral Γ' no puede ser calculado mediante la relación de las distancias s y s' porque la posición de la lente no está definida como un punto del eje óptico. Para calcularlo adecuadamente, habría que tratar la lente como dos dioptrios. Sin embargo, sí se puede emplear la relación de tamaños de objeto e imagen.

3.4.2 Material empleado

En el caso del microscopio simple, solamente se necesitarán los siguientes materiales:

- Lo primero es encontrar **la lente** que funcionará como microscopio simple. Como se ha mencionado arriba, existen varios materiales que se pueden utilizar para este fin. Para este trabajo se eligió la lente de un lector de DVD de un ordenador que ya no funcionaba.

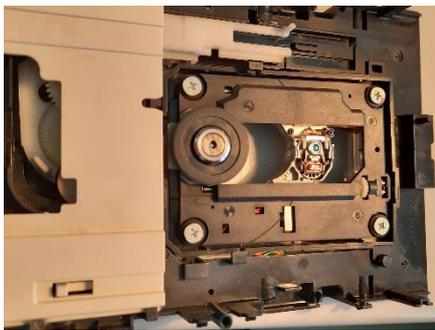


Figura 3-40. La lente se debe desmontar del lector de CD.



Figura 3-41. La lente del lector de CD ya desmontada.

- Un **teléfono móvil**, para observar en la pantalla las imágenes obtenidas.
- Algo que sirva de **sujeción** para la lente al teléfono móvil. Se ha probado con pequeñas tiras de cinta de carroceros, que no daña el móvil ni la lente, una horquilla, hilo, o incluso cartulina con un pequeño agujero algo más pequeño que la lente.
- Una **regla**, con medidas de al menos 1 mm. Para este experimento se utilizó una cuya resolución era de 0.5 mm.

3.4.3 Construcción

La construcción consiste en fijar la lente a la cámara del móvil. Como el móvil que se utilizó tiene varias cámaras, como suele suceder con los móviles actuales, se buscó primero cuál es la cámara principal, pasando un lapicero por cada una hasta que éste apareció en la pantalla del móvil.

Una vez se conoce con qué cámara está operando, simplemente hay que ajustar la lente a ella. Se utiliza el método de sujeción que se prefiera, de los mencionados anteriormente o algún otro que se encuentre. Lo más importante es que se coloque la lente adecuadamente. Para ello, lo primero es situar la lente lo más centrada posible a la lente de la cámara del teléfono móvil.



Figura 3-42. Lente colocada en la cámara del móvil funcionando de microscopio.

Además, en caso de utilizar las lentes de los lectores de CD, existen dos modos de colocar la lente, que proporciona resultados diferentes. Esto ocurre debido a que la lente no es una lente delgada, y, como tal, no funciona de la misma forma en una dirección que en la otra. Hay que tener en cuenta la finalidad para la que fueron diseñadas: focalizar el haz colimado de un láser en un punto sobre el CD. De esta manera, si invertimos la dirección de la luz (el objeto en la posición del CD y la cámara en la del láser), el resultado será muy bueno, pero solamente para el punto central de la imagen. Si la lente se coloca al revés, es posible enfocar una zona más amplia, pero el resultado de la imagen será peor.

3.4.4 Procedimiento experimental

Como la distancia focal de la lente es muy corta, las distancias en las que nos vamos a manejar son también muy pequeñas. Por esta razón va a ser necesario acercarse mucho al móvil al objeto, algo que ocurre igual en los microscopios comerciales. El procedimiento para enfocar consiste entonces en acercarse y alejarse del móvil para modificar la distancia del objeto a la lente. Una vez se ha conseguido enfocar el objeto deseado, se puede realizar una foto o un vídeo según se considere oportuno.

Como las distancias en este caso son excesivamente pequeñas, no es posible realizar medidas de éstas. Además, como ya se ha mencionado, no es posible aproximar esta lente a una lente delgada, y por lo tanto no se podría usar la ecuación (1). Sin embargo, sí que se puede realizar una estimación de los aumentos de este microscopio simple, mediante la relación de tamaños objeto y e imagen y' de la ecuación (2):

$$\Gamma' = \frac{y'}{y}$$

Al ser los objetos observados por una pantalla, donde se puede ampliar la imagen o incluso verla en pantallas de distintos tamaños, no se puede dar los aumentos en relación al tamaño del objeto y de la imagen en unidades de longitud, como se ha hecho en alguno de los experimentos anteriores. Se deben buscar relacionar unidades comparables. Para ello basta con hacer una foto al objeto, y de esta manera comparar las fotografías del objeto y de la imagen.

Así, el aumento vendría dado por

$$\Gamma' = \frac{y'(\text{ud: pixeles})}{y(\text{ud: pixeles})} \quad (5)$$

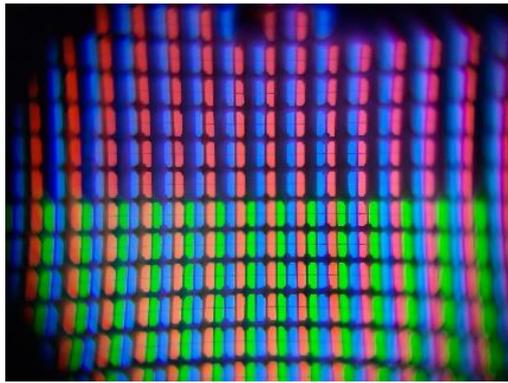
donde ahora y es la longitud del objeto en píxeles (obtenida de la fotografía del objeto) e y' es la longitud de la imagen en píxeles (obtenida de la fotografía de la imagen).

Para poder caracterizar el *aumento comercial*, se realizan fotografías del objeto y de la imagen, sin utilizar el zoom digital. Para tomar la fotografía del objeto, nos situamos a 25 cm de éste, que es la manera habitual de caracterizar los aumentos de las lupas. Para la fotografía de la imagen (la tomada a través del microscopio), es necesario situar el objeto en el foco de la lente, algo que se consigue haciendo que la cámara del móvil enfoque al infinito. Sin embargo, como caracterizar los aumentos de imágenes u objetos en el infinito se sale del currículo de bachillerato, se puede simplemente caracterizar el aumento lateral Γ' . La diferencia consistiría en que se colocaría el objeto entre el foco y la lente, para que la imagen virtual que se forme no esté en el infinito, pero hay que tener en cuenta que en este caso el aumento no será único.

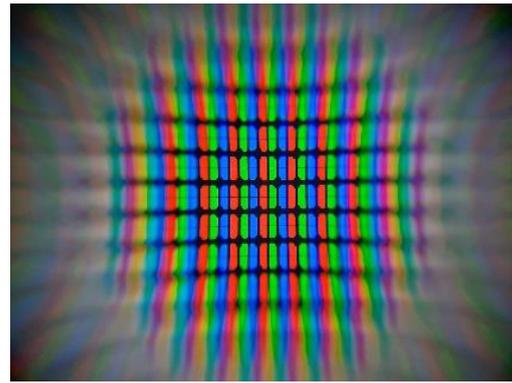
Estas fotografías deberán analizarse con un programa de conteo de píxeles como Tracker o Paint, como ya se explicó en la *sección 3.3.4*.

3.4.5 Resultados obtenidos

Se van a analizar en primer lugar las diferencias entre una posición de la lente y la otra. En la Figura 3-43 se muestran algunos ejemplos de la lente funcionando en una u otra dirección. Para simplificar, a partir de ahora se utilizará la letra A para el modo de funcionamiento en el que el objeto se encuentra en la posición del láser en la función original, y la letra B para el modo de funcionamiento en el que el objeto se situaría en la posición del CD.



(a) Imagen formada con la lente colocada de la forma A.



(b) Imagen formada con la lente colocada de la forma B

Figura 3-43. Imágenes obtenidas de una pantalla LED de un ordenador.

Como se puede observar, la nitidez de la imagen en el modo B es muy buena, pero solamente se puede observar correctamente una zona reducida. Por el contrario, en el modo A la imagen es algo peor, aunque se es capaz de enfocar una zona mucho más amplia. Dependiendo de la finalidad de la observación, se podría utilizar un modo u otro.

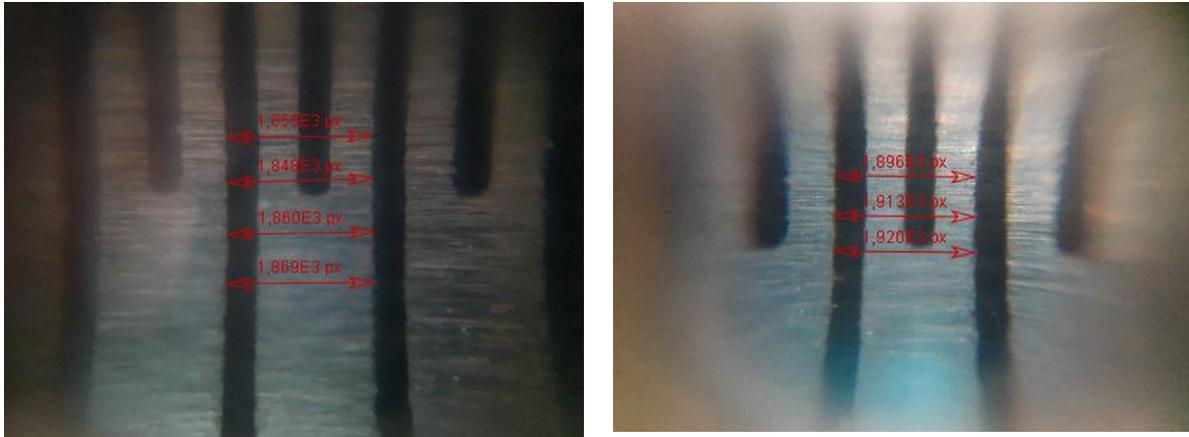
Vamos ahora a analizar los aumentos del microscopio. Primero hay que elegir el objeto que se va a utilizar para medir los aumentos. Como se ha mencionado en la sección anterior, hay que realizar dos fotografías para medir los tamaños en píxeles: una de ellas debe ser del objeto, a una distancia de 25 cm, y la otra debe ser de la imagen de ese mismo objeto a través de la lente, con la cámara enfocando al infinito.

En este punto nos encontramos con un problema: cualquier objeto que quepa completo en la fotografía de la imagen (la tomada a través del microscopio) es demasiado pequeño para que se pueda medir correctamente en la fotografía del objeto (sin microscopio) a 25 cm de distancia. Por ejemplo, el ancho de un alfiler: a 25 cm no se puede tomar una medida adecuada.

Este problema se soluciona utilizando como objeto una regla. El objetivo será medir la cantidad de píxeles que hay en 1 mm tanto en la fotografía del objeto (sin microscopio) como en la de la imagen (con microscopio). La imagen se puede medir directamente, porque 1 mm entra completo en la fotografía hecha con el microscopio. Ahora bien, para medir los píxeles que hay en 1 mm en la fotografía sin microscopio, la del objeto, no hay más que medir los píxeles que hay en una longitud más grande, por ejemplo, 15 cm = 150 mm, y después dividir los píxeles obtenidos entre 150, para obtener cuántos hay en 1 mm.

Se ha utilizado la regla de 0,5 mm y se ha observado a través de la lente, tanto en la posición A como en la posición B. Se ha medido con Tracker la cantidad de píxeles que hay en 1 mm de la

regla, realizando varias medidas de esta distancia para poder calcular la media y que el resultado sea más exacto. Las medidas han sido tomadas en el centro de la imagen, ya que en ambos casos es donde la imagen está menos distorsionada. En la Figura 3-44 se muestran los resultados.



(a) Imagen formada con la lente colocada de la forma A.

(b) Imagen formada con la lente colocada de la forma B.

Figura 3-44. Fotografías realizadas con el microscopio a una regla con el objetivo de calcular los aumentos de éste. Aparecen varias medidas de los píxeles para 1 mm de la regla.

Comenzando con la forma A. La cantidad de píxeles que hay en 1 mm se calcula haciendo la media de los valores que aparecen en la Figura 3-31 (a) y es de $1,858 \cdot 10^3$ px/mm.

Lo mismo para la forma B. La cantidad de píxeles que hay en 1 mm se calcula haciendo la media de los valores que aparecen en la Figura 3-31 (b) y es de $1,910 \cdot 10^3$ px/mm.

Ahora se calcula el tamaño del objeto en la fotografía sin microscopio.

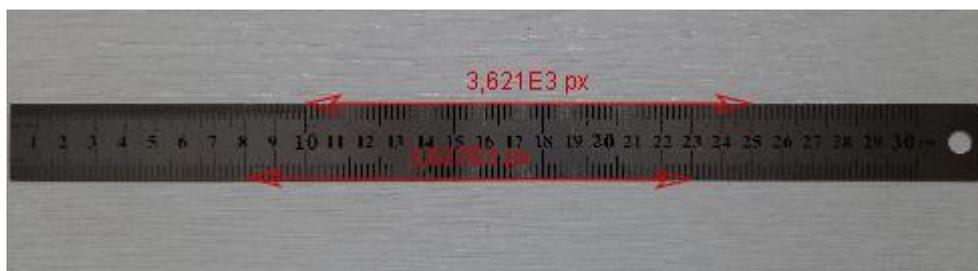


Figura 3-45. Imagen de la regla a 25 cm de distancia. Aparecen dos medidas de los píxeles para 150 mm de la regla.

La cantidad de píxeles que hay en 150 mm de la regla es de $3,624 \cdot 10^3$ px de media, por lo que en 1 mm, hay $\frac{3,624 \cdot 10^3}{150} = 2,416 \cdot 10^2$ px.

Con todos estos datos ya se puede calcular los aumentos en el modo A

$$N(A) \times = \frac{1,858 \cdot 10^3 \text{ px}}{2,416 \cdot 10^2 \text{ px}} = 76,9$$

y en el modo B

$$N(B) \times = \frac{1,910 \cdot 10^3 \text{ px}}{2,416 \cdot 10^2 \text{ px}} = 79,1$$

En el *Anexo II* se pueden observar diferentes fotografías de imágenes observadas a través del microscopio.

4 IMPLEMENTACIÓN EN DISTINTOS ESCENARIOS

Hasta este momento se ha descrito la relevancia en el currículum de segundo de bachillerato, cómo se puede realizar esta serie de prácticas, y que su fabricación es suficientemente sencilla para poder ser realizada por alumnos incluso más jóvenes, dado el caso. Pero aún queda describir de qué manera se puede llevar todo esto a la práctica para que realmente resulte educativo y no se quede en una simple curiosidad para los alumnos.

En la Figura 4-1 aparece el cono de la experiencia de Edgar Dale, extraída de (Ruiz-Gallardo, 2016). Aunque, según él mismo dijo, el cono no debe ser tomado de manera literal, sí representa relaciones jerárquicas entre diferentes métodos de aprendizaje y puede dar una idea de la retención de la información por parte de los alumnos.



Figura 4-1. Cono de la experiencia según Edgar Dale.

En este cono se puede observar que una manera muy eficiente de aprender es mediante la experiencia directa, es decir, cuando los propios alumnos *experimentan personalmente* sobre, en este caso, los fenómenos físicos a los que el profesor hace referencia.

Por otro lado, de este esquema se extrae igualmente que una manera también bastante buena de generar un buen aprendizaje en los alumnos es realizarles demostraciones de los conceptos que se explican en clase. La manera principal de hacer esto es mediante *experiencias de cátedra*.

4.1 EXPERIENCIA DE CÁTEDRA

La experiencia de cátedra es un recurso docente que consiste en la realización de experimentos y demostraciones en el aula por parte del profesor durante las clases magistrales, con el objetivo de ilustrar los fenómenos físicos que está explicando.

Tienen que ser prácticas que se puedan observar de manera cualitativa, y que demuestren de una manera simple los principios a los que se haga referencia, para que realmente sea educativo. Son una herramienta muy útil para complementar la explicación teórica de una manera visual y demostrar al mismo tiempo los conceptos de la teoría. Por si esto fuera poco, otra bondad de

realizar experiencias de cátedra es que también despiertan el interés en los alumnos porque rompe la monotonía de las clases a las que están acostumbrados, lo que les hace más susceptibles de un aprendizaje significativo (de Andrea González & Gómez Gómez, 2005).

Así pues, los experimentos de cátedra son una muy buena opción si hay un problema de falta de tiempo, como ocurre a menudo, o si la práctica requiere un instrumento del que solo se dispone una unidad, si el laboratorio no tiene capacidad para toda la clase, o cualquier otra situación que impida la realización de la práctica por parte de los alumnos.

Existen varios inconvenientes en este planteamiento. El primero es, como ya se ha mencionado, que no es el mejor que se puede elegir para una práctica, ya que realizar las prácticas de manera activa por parte de los alumnos hace que generen un conocimiento más profundo.

Hay otro problema que suele ser muy común, y es que los alumnos que se sienten más alejados de la pizarra tengan problemas para distinguir adecuadamente lo que el profesor está realizando. Esto es especialmente habitual en clases muy grandes o con muchos alumnos. Se puede tratar de evitarlo repitiendo el experimento en varios puntos de la clase, o pidiendo a los alumnos que se acerquen y se coloquen alrededor.

4.1.1 Descripción de la actividad

Si se opta por una experiencia de cátedra, lo primero es construir los instrumentos. Se pueden seguir las instrucciones que se han dado en el *capítulo 3*, que se ha comprobado que funcionan, aunque también se pueden cambiar ciertos aspectos si se considera oportuno.

Una vez están hechos los experimentos que se deseen llevar al aula, es importante decidir cuándo mostrar el experimento para planificar la explicación de manera adecuada y que no resulte confuso para los alumnos. A la hora de decidir el momento de presentar el experimento hay principalmente dos posibilidades, cada cual con sus ventajas y sus inconvenientes.

Se puede mostrar *antes de la explicación* y plantear el fenómeno en cuestión como algo que hay que explicar. De esta manera, se mostraría lo que ocurre en el experimento al comienzo de la clase y a continuación se procedería a exponer los conceptos y principios físicos que explican el suceso. Tiene la ventaja de que, al comenzar con algo diferente, puede despertar su interés por conocer la Física que se esconde detrás y estén más atentos durante la explicación.

Otra opción es comenzar con la explicación y mostrar el experimento *después*. Así, cuando ven el experimento ya saben de qué fenómeno físico se trata y qué leyes lo explican, de tal forma que

deberían entenderlo de manera correcta. Sirve para demostrar e ilustrar lo que se ha estado explicando con anterioridad y de esta manera afianzar los nuevos conceptos.

Como experimento de cátedra para ilustrar fenómenos físicos se puede aplicar al curso de segundo de bachillerato. No requiere apenas tiempo durante las clases, apenas unos minutos, y los resultados son muy buenos, por lo que merece la pena. Además, tiene la ventaja de que, una vez contruidos para la primera vez, se pueden utilizar para los cursos siguientes sin problema.

4.2 EXPERIENCIA DE LABORATORIO

Como ya se ha visto, la experiencia de cátedra no es el mejor método para que los alumnos adquieran los conocimientos de manera significativa debido a que es un método de aprendizaje pasivo, no son ellos los que manipulan los instrumentos, sino que solamente ven al profesor hacerlo.

Aunque sería interesante construir los experimentos en clase, esto lleva mucho tiempo, algo de lo que normalmente no se dispone. Por lo tanto, no parece viable realizar la construcción de los instrumentos durante las clases. Es por eso que se propone este segundo método, que consiste en proporcionar a los alumnos los instrumentos ya fabricados y ellos simplemente deben medir, realizando después una exposición con los resultados.

4.2.1 Metodología

Para el desarrollo de esta modalidad, se debe acudir a un aula en el que se disponga de un ordenador por grupo de laboratorio, ya que, al menos para la práctica del microscopio, es necesario disponer de uno.

Al empezar la clase, los alumnos deben familiarizarse con los instrumentos de su práctica y después proceder a tomar medidas y analizar los datos obtenidos, en caso de tenerlos. Se les proporciona un guion breve para orientarles.

Unos días después de la práctica, de manera que tengan tiempo para prepararlo, cada grupo hace una exposición en la que deben hablar de su práctica, explicando de qué va y su funcionamiento, y exponiendo los resultados. Esto tiene dos ventajas. La primera es que de esta manera todos los alumnos aprenden sobre todas las prácticas, y no solamente la que les haya tocado realizar como práctica. La segunda ventaja es que explicar algo a otras personas es una de las mejores maneras de asegurarse de que algo se comprende bien. Además, si saben que van a tener que exponer los resultados más adelante, durante el desarrollo de la práctica estarán más atentos.

Aparte de contar los resultados obtenidos se puede añadir una pequeña componente de indagación a la actividad pidiéndoles que busquen información sobre los instrumentos que se utilizan hoy en día, más complejos, y que expliquen brevemente las diferencias centrándose en la óptica, con un poco de historia si se desea. Pueden hablar de cómo construirían ellos otro instrumento semejante, después de haber visto el de las prácticas y haber leído la información en internet.

4.2.2 Adecuación al currículo

El curso al que se aplicaría este método es a segundo de bachillerato, ya que es el curso en el que se estudia Óptica Geométrica en el currículo actual. No tendría sentido aplicar esta modalidad a otros cursos, ya que no conocen las relaciones matemáticas que rigen el comportamiento de las lentes delgadas, y esta modalidad requiere tomar medidas y utilizarlas.

Obviamente, seguir este método obligaría al profesor a tener ya fabricados los instrumentos antes de la sesión de laboratorio, es decir, que, o bien los debe fabricar él o tener alguna vía para que alumnos de otras etapas educativas o de otros años los fabriquen (ver *sección 4.3*).

4.2.3 Temporalización

Una vez se tiene construido el material, se tarda muy poco tiempo en realizar las medidas. Esto permite una mayor versatilidad y la posibilidad de emplear una única sesión de laboratorio, lo cual es lo más realista en este curso de bachillerato.

Las mediciones son muy rápidas de hacer, se estima que los alumnos tardarían unos 15 minutos en realizarlas en el peor de los casos, probablemente menos si no hay ningún imprevisto. Así, se puede plantear la primera mitad de la sesión del laboratorio para que los alumnos se familiaricen con el instrumento de la práctica que deben realizar y para la toma de medidas, y la segunda para el tratado de datos, aproximadamente.

En el experimento del **proyector** y del **sistema fotográfico**, que es básicamente el mismo procedimiento porque es el mismo instrumento pero invirtiendo las posiciones del objeto y la imagen, la toma de datos se refiere a las distancias de objeto e imagen respecto de la posición de la lente. En la segunda parte de la práctica, los alumnos deberán utilizar esos datos para obtener la distancia focal de la lente y compararla con la obtenida medida directamente enfocando un objeto muy lejano. También se puede calcular el aumento lateral en cada caso, e incluso comprobarlo midiendo los tamaños de imagen y objeto.

En el caso del **telescopio**, no existe una parte tan diferenciada entre toma de datos y procesado. En este caso, los alumnos deberían empezar tomando medidas de las distancias focales de cada lupa. Tras esto, las colocarían en cada extremo, y deberían enfocar a un objeto lejano, para comprobar que efectivamente la distancia coincide aproximadamente con la suma de las distancias focales de cada una. Esto probablemente les llevará un rato, ya que deben aprender a obtener la imagen en el infinito, sin acomodar el ojo. Es posible que el profesor deba ayudarles en este paso. Después, pueden comprobar que, si enfocan objetos más cercanos, la distancia entre lentes aumenta. En general no se suele explicar en este curso el aumento visual de un telescopio, porque las imágenes están formadas en el infinito, por eso no se plantea su medición si no se ha explicado en clase.

En el caso del **microscopio**, lo primero es colocar la lente en uno de sus móviles. Se pueden llevar preparadas varias muestras para que las observen y hagan fotos, pero también pueden observar todo lo que se les ocurra: tejidos, pantallas, etc. Para las medidas, pueden utilizar una regla y proceder como se ha hecho en la *sección 3.4.4*. Como ya se ha comentado, se puede eliminar la restricción de que el móvil enfoque al infinito y tener así el objeto en el foco, en el caso de que no se haya explicado en la teoría cómo calcular los aumentos de imágenes en el infinito. Si se procede así, el aumento del microscopio no será único, porque dependerá de la posición del objeto, pero se ha comprobado que, al menos para la lente utilizada, no hay una gran diferencia.

La duración de las exposiciones debe ser corta, y, en todo caso, ser acordes a la cantidad de grupos que hay. En ningún caso deberían durar más de una sesión de clase en total.

4.2.4 Organización del alumnado

Dependiendo de la cantidad de alumnos que tenga la clase y de la cantidad de instrumentos de los que se disponga se puede organizar a los alumnos de una manera o de otra. Lo ideal sería un máximo de 4 alumnos por grupo, y a cada grupo le correspondería uno de los cuatro experimentos planteados en este trabajo, pudiéndose repetir si se dispone de varios instrumentos.

4.2.5 Evaluación

La evaluación de los alumnos se realizará únicamente mediante la exposición que realicen. Segundo de bachillerato es un curso bastante difícil en el que los alumnos tienen mucho trabajo, y no es deseable recargarles con más trabajo del necesario.

Se evaluarán los resultados que expongan en la exposición. Algunos elementos que se pueden valorar son:

- Conecta la teoría con la práctica

- El procedimiento que han seguido se describe correctamente
- Utiliza el lenguaje de los conceptos físicos de forma adecuada (foco, distancia focal, objeto, imagen, lente, etc.)
- Presenta los resultados de manera ordenada.
- Explica si los resultados son coherentes y por qué, elaborando hipótesis de por qué pueden no coincidir los resultados teóricos y los experimentales, dado el caso.

Durante la exposición, se reparte a los alumnos un formulario para que rellenen con las puntuaciones que le dan a cada grupo, separado por diferentes ámbitos: claridad de la exposición, precisión del lenguaje, organización, tiempo, interés del orador en lo que explica, relevancia del tema, uso de recursos visuales, etc. Esto fomentará su atención en las exposiciones del resto de compañeros, aunque no contará para la nota final: la puntuación total será del profesor únicamente.

4.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Otra opción, que obviamente requiere más tiempo, es que los propios alumnos construyan los experimentos. El problema de esta modalidad es la cantidad de tiempo que se necesita, de modo que es algo que no se puede plantear en un curso como segundo de bachillerato, y menos durante el periodo lectivo.

Es por esta razón que se puede considerar aplicarlo a cursos anteriores, por ejemplo 4º de ESO durante un taller, quizá planteando una colaboración entre los departamentos de Física y Química y Tecnología, durante alguna conmemoración de algún descubrimiento importante que esté relacionado con alguno de los instrumentos aquí fabricados, un campamento científico o una feria científica, o incluso algunos de los días entre la evaluación y las vacaciones de cada trimestre, que los alumnos están más despistados y algunos profesores optan por actividades diferentes. Otro lugar donde se puede aplicar es en actividades extraescolares.

Es verdad que estos alumnos no han dado óptica, pero precisamente por eso es interesante mostrarles algunas aplicaciones interesantes. Por otro lado, aunque no tengan conocimientos académicos de óptica, sí tienen conocimientos previos de lo que es una lupa, que las lentes de las gafas de los miopes y los hipermétropes son diferentes, que con una lupa se puede “concentrar” la luz del sol en un punto y generar fuego... Además, se puede aprovechar para desmontar algunas de esas concepciones previas que tienen y que son erróneas y bastante comunes, como las que se muestran en (Gil Llinás, 2003): por ejemplo, que una lupa no se limita a transmitir la luz, sino que

la “produce” (la amplifica), o que cuando vemos un objeto, “algo” viaja de nuestros ojos a ese objeto, etc.

4.3.1 Metodología

Se debería comenzar explicando unas pequeñas nociones sobre óptica geométrica, a nivel muy básico. En estos cursos no se les puede explicar la matemática que hay detrás, pero sí se pueden realizar algunos dibujos simples de los rayos de luz, para explicar de manera muy cualitativa algún concepto como el foco. Durante la explicación se puede aprovechar para desmontar algunas de las concepciones previas erróneas que puedan tener los alumnos.

Después se comenzaría con la fabricación de los objetos. En principio se realizaría de manera individual, pero como algunos de los alumnos pueden ser más rápidos que otros, éstos pueden ayudar a sus compañeros. Hay que considerar no utilizar objetos que puedan ser peligrosos y sustituirlos por otros, por ejemplo, cambiar el cúter por unas tijeras, que son más inofensivas.

4.3.2 Temporalización

Dependiendo del instrumento que vayan a construir, podrían tardar más o menos tiempo. En general, el que mayor tiempo requerirá será el telescopio, porque es en el que más hay que manipular los materiales y el que más exacto tiene que quedar para que cada tubo se deslice sobre el otro sin caerse. Como hay que dejar margen por si hay que repetir alguna parte, se estiman unas 6 horas para este experimento, mientras que para el proyector o la cámara fotográfica se necesitarían 3 horas.

El experimento del microscopio es diferente, ya que lo que hay que hacer es obtener la lente, y esto no se espera que se realice por parte de los alumnos. Se puede mostrar de dónde se obtienen, desmontando una delante de ellos si se desea, porque es interesante conocer el origen. Una vez se les proporciona la lente, sí se puede permitir que ellos experimenten con ella observando diferentes aparatos. Además, dependiendo de la edad, puede ser conveniente proporcionarles una estructura y no la lente suelta, debido a los riesgos que puede suponer que se atraganten con ella, en cuyo caso la actividad consistiría no en la construcción sino en la observación de objetos con el microscopio.

5 VALORACIÓN FINAL Y CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado cuatro experimentos de Óptica Geométrica. Como esta área solamente se estudia en segundo de bachillerato, los experimentos diseñados para complementar los conceptos físicos asociados a ellos solamente son aplicables a este curso.

Como ya se ha mencionado varias veces a lo largo del trabajo, la experimentación es muy importante en una asignatura como la Física o la Química. Ayuda a comprender mejor los conceptos, motiva al alumnado, y conecta la teoría con la realidad y la aplicabilidad. Es una pieza importante para lograr el aprendizaje significativo en los alumnos.

La experimentación es igualmente importante en segundo de bachillerato, aunque en la mayor parte de los casos se quede relegada debido al gran volumen de temario que hay que abordar en un solo curso. Pero la experimentación no solamente ayuda a afianzar conceptos o con la motivación del alumnado, sino que es una parte inherente a la Física y la Química. Los conceptos teóricos de estas asignaturas se derivan de fenómenos de la vida real y de la propia experimentación de los científicos. Si la teoría no se complementa con la práctica, solamente se está enseñando la mitad.

Es más, en la propia ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León, se menciona también, a parte de la metodología clásica de las explicaciones y la resolución de problemas por parte del profesor, “una metodología activa por parte del alumno porque también es necesario que el alumnado se implique en su proceso de aprendizaje de manera directa”. Además, recomienda realizar experiencias sencillas en el laboratorio, ya que “la Física es una Ciencia eminentemente experimental y es en el laboratorio donde el alumnado puede entender mejor los conceptos que se tratan”. Se piensa que las prácticas de laboratorio propuestas en este trabajo encajan perfectamente con las indicaciones que se tratan en el BocyL.

Aun así, es verdad que la construcción de los dispositivos, aunque es muy interesante, es prácticamente imposible de llevar a cabo en este curso de bachillerato, que es el único del currículo de toda la Enseñanza Secundaria y Bachillerato donde se explica. Sin embargo, sí que se ha considerado que es posible realizar la construcción en un contexto no académico con alumnos más jóvenes que no hayan estudiado todos los conceptos físicos y matemáticos que hay detrás de una lente, explicándoselos de una manera mucho más cualitativa y aludiendo al conocimiento más cotidiano de éstas.

En conclusión, se espera que este Trabajo de Fin de Máster pueda ser de ayuda para tratar de hacer más presente la experimentación en las aulas, mejorando con ello la calidad de la enseñanza y fomentando el interés en la Física.

BIBLIOGRAFÍA

- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Casas, J. (1994). *Óptica* (Séptima ed.). Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Cybulski, J. S., Clements, J., & Prakash, M. (18 de Junio de 2014). Foldscope: Origami-Based Paper Microscope. *PLoS ONE*, 9(6), e98781. doi:10.1371/journal.pone.0098781
- de Andrea González, Á., & Gómez Gómez, A. (2005). El aprendizaje significativo y funcional: una herramienta metodológica en la física de segundo de bachillerato. (G. Pinto Cañón, Ed.) *Didáctica de la Física y la Química en los distintos niveles educativos*, 62-66.
- del Mazo, A. (2019). Microscopio simple: mucho más que una simple lupa. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2401. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2401
- Gil Llinás, J. (2003). *Preconcepciones y errores conceptuales en Óptica. Propuesta y validación de un modelo de enseñanza basado en la Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein*. Badajoz: Universidad de Extremadura.
- López Velasco, J., Lupión Cobos, T., & Mirabent Martínez, A. (2005). Situación actual de la enseñanza de la física y la química en la educación secundaria: "estado crítico". (G. Pinto Cañón, Ed.) *Didáctica de la física y la química en los distintos niveles educativos*, 33-40.
- Pinto Cañón, G. (2003). Didáctica de la química y la vida cotidiana: Delectando paliterque monendo. *Anales de Química*, 99, 44-52.
- Rubal Thomsen, M. (13 de abril de 2018). Los orígenes de la fotografía. *La Vanguardia*. Recuperado el 20 de junio de 2021, de <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20180411/442459480247/historia-fotografia-camara-kodak-polaroid-digital-daguerrotipo.html>
- Ruiz-Gallardo, J. (2016). *Dificultades encontradas por los profesores en la aplicación del Aprendizaje Cooperativo*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304138251_Dificultades_encontradas_por_los_profesores_en_la_aplicacion_del_Aprendizaje_Cooperativo_Algunas_soluciones

Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education. (s.f.). Recuperado el 21 de junio de 2021, de Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education:
<https://physlets.org/tracker/>

Vos, B. E., Blesa, E. B., & Betz, T. (abril de 2021). Designing a high-resolution, LEGO-based microscope for an educational setting. *BioRxiv*. doi:10.1101/2021.04.11.439311

ANEXO I. ANÁLISIS DE GASTOS

Práctica I: Sistema fotográfico	
Material	Precio por práctica
Lupa de 90 mm de diámetro y $f' = 23$ mm	1,5 €
Total	1,5 €

Práctica II: Proyector ⁵	
Material	Precio por práctica
Lupa de 90 mm de diámetro y $f' = 23$ mm	1,5 €
Total	1,5 €

Práctica III: Telescopio	
Material	Precio por práctica
Lupa de 60 mm de diámetro y $f' = 95$ mm	0,75 €
Lupa de 60 mm de diámetro y $f' = 270$ mm	1 €
Total	1,75 €

No se contabiliza el precio del resto de materiales pues se considera que los cartones, las latas de patatas, y la lente del lector de DVD son productos de deshecho que se pueden guardar de otras ocasiones para realizar este tipo de manualidades. Tampoco se contabiliza el precio del teléfono móvil para las prácticas del proyector y del microscopio, pues se entiende que todos los alumnos tienen uno, y por lo menos va a haber un par de ellos para realizar las prácticas. Lo mismo sucede con los ordenadores: todos los centros disponen de varios que los alumnos pueden utilizar.

⁵ El proyector y el sistema fotográfico son similares. La lupa, por lo tanto, es la misma si no se hacen prácticas separadas.

ANEXO II. FOTOGRAFÍAS DEL MICROSCOPIO

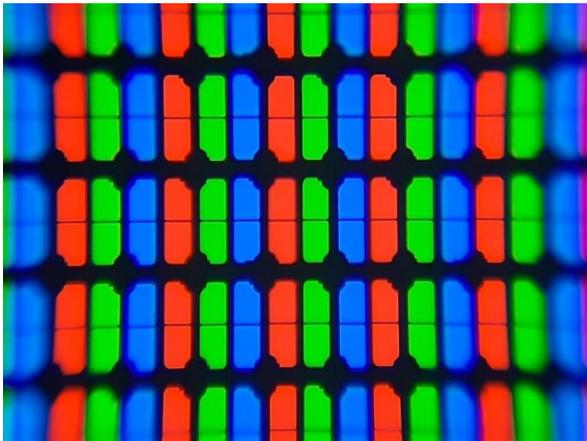


Figura 0-1. Imagen de una pantalla LED en blanco observada a través del microscopio.

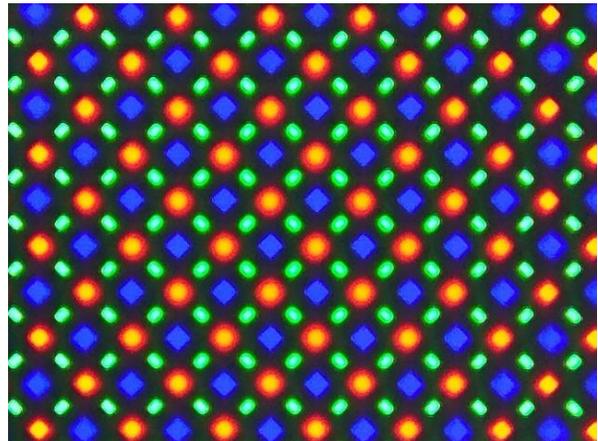


Figura 0-2. Imagen de una pantalla OLED en blanco observada a través del microscopio.

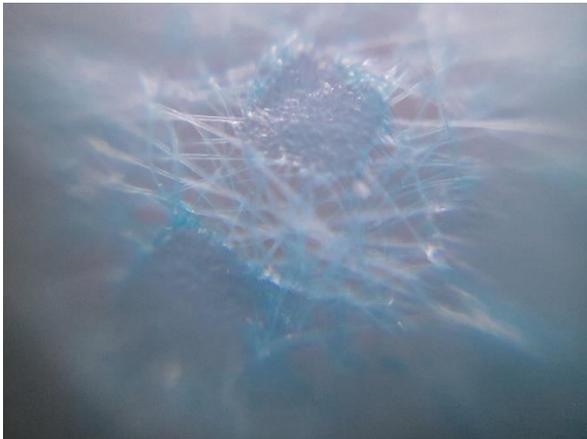


Figura 0-3. Mascarilla quirúrgica azul, observada a través del microscopio.



Figura 0-4. Mascarilla quirúrgica azul, desde lejos.



Figura 0-5. Mascarilla higiénica de tela de algodón, observada a través del microscopio.



Figura 0-6. Mascarilla higiénica de tela de algodón, desde lejos.



Figura 0-7. Tejido exterior de la camiseta.



Figura 0-8. Tejido interior de la camiseta.



Figura 0-9. Camiseta amarilla de algodón, desde lejos.

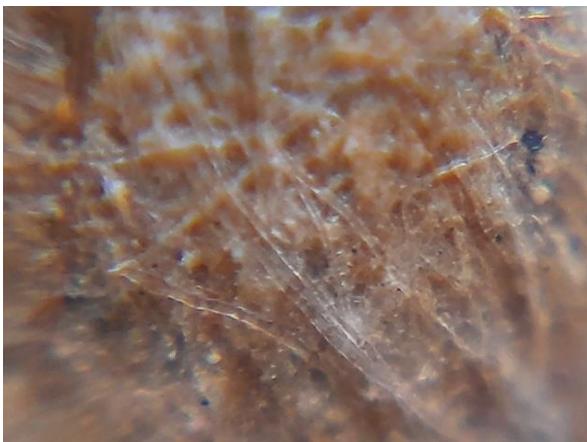


Figura 0-10. Cartón, a través del microscopio.



Figura 0-11. Cartón, desde lejos.

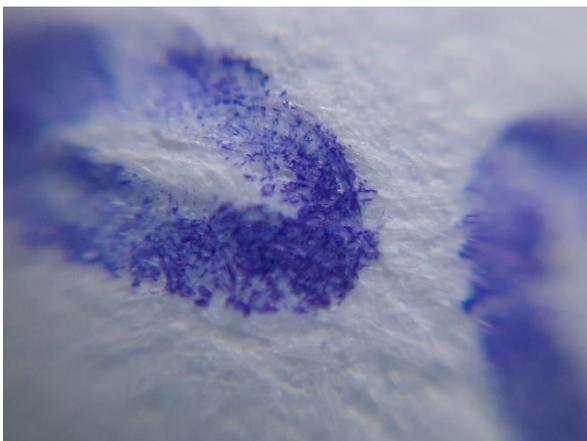


Figura 0-12. Letras a bolígrafo sobre papel blanco, a través del microscopio.



Figura 0-13. Letras a lapicero sobre papel blanco, a través del microscopio.



Figura 0-14. Un estambre de las flores de la figura de la derecha.



Figura 0-15. Flores observadas desde lejos.



Figura 0-16. Foto a través del microscopio de una huella dactilar.

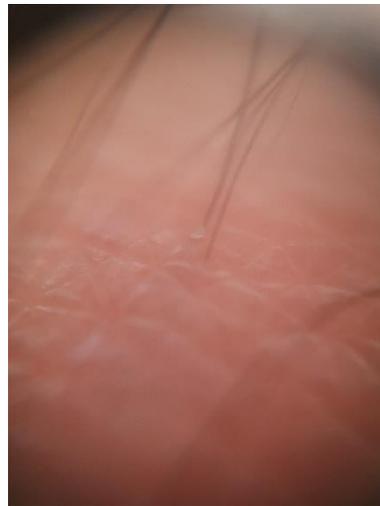


Figura 0-17. Foto a través del microscopio de la piel del brazo.



Figura 0-18. Foto de la raíz de un pelo de la cabeza.

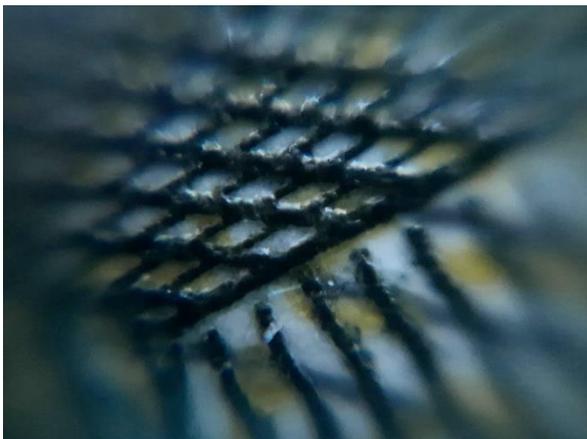


Figura 0-19. Billete de 5 euros a través del microscopio.

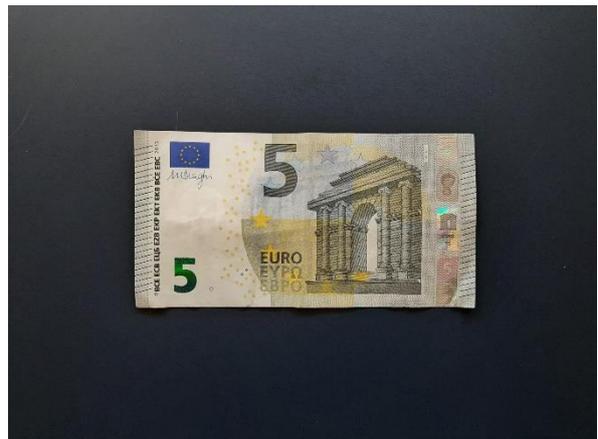


Figura 0-20. Billete de 5 euros desde lejos.

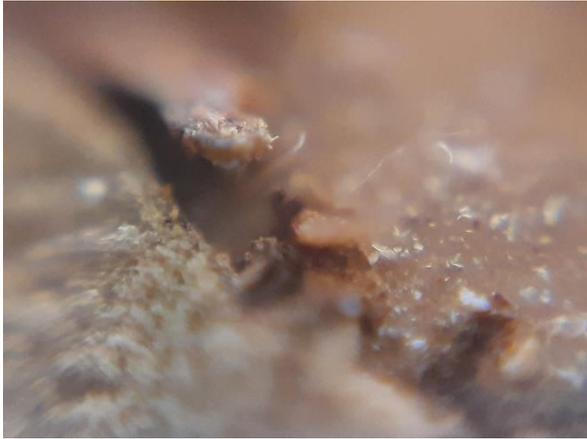


Figura 0-21. Corcho tratado observado a través del microscopio.



Figura 0-22. Un monedero de corcho tratado, desde lejos.



Figura 0-23. Uno de los ojos de la abeja, observado a través del microscopio.



Figura 0-24. Una abeja, desde lejos.



Figura 0-25. Tres fotografías al ala de una abeja.



Figura 0-26. Lo que hubieran sido los granos de la granada si se hubiera terminado de formar.



Figura 0-27. Granada caída de un árbol antes de llegar a formarse. Se pueden apreciar en la zona inferior el comienzo de la formación de los granos.