Alternativas semipresenciales al laboratorio de Física

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

Especialidad: Física y Química

Autor:

Daniel Martín Gómez

Tutor:

Carlos Torres Cabrera

José María Muñoz Muñoz

Julio de 2024

Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias

Índice

1 Introducción **1**

2 Contextualización **3**

1 Laboratorio presencial 3

2 Empleo de grabaciones de experimentos de laboratorio 3

3 Empleo de simulaciones de experiencias de laboratorio 4

4 Método tradicional sin laboratorio 5

5 Conclusiones 5

3 La técnica **6**

1 Diseño y montaje 7

2 Grabación de vídeos 7

3 Edición de vídeos 9

4 Extracción de resultados 17

4 Experimentos ejemplo **18**

1 Caracterización de un LED 19

1.1 Fundamento teórico y contextualización 19

1.2 Montaje de la práctica 21

1.3 Resultados obtenidos y discusiones 25

2 Comprobación de la ley de enfriamiento de Newton 29

2.1 Fundamento teórico y contextualización 29
2.2 Montaje de la práctica 31
2.3 Resultados obtenidos y discusiones 34
3 Obtención de la focal de una lente convergente 36
3.1 Fundamento teórico y contextualización 36
3.2 Montaje de la práctica 37
3.3 Resultados obtenidos y discusiones 44
4 Obtención de la gravedad mediante un péndulo 46
4.1 Fundamento teórico y contextualización 46
4.2 Montaje de la práctica 47
4.3 Resultados obtenidos y discusiones 55

5 Conclusiones **62**

Bibliografía **64**

A Tablas de resultados **67**
1 Caracterización de un LED 68
2 Comprobación de la ley de enfriamiento de Newton 72
3 Obtención de la focal de una lente convergente 74
4 Obtención de la gravedad mediante un péndulo 75

B Diseños gráficos empleados **79**
1 Objeto del banco óptico 79
2 Cuadrícula de la pantalla del banco óptico 81
3 Ángulos y distancias para el péndulo 83

Capítulo 1

Introducción

Las prácticas de laboratorio son un complemento fundamental para la formación de los estudiantes en las asignaturas de Ciencias. Permiten la familiarización con los instrumentos de medida propios del trabajo científico, a la vez que facilitan la transmisión de los contenidos teóricos adquiridos al trabajo científico real.

Sin embargo, por diversas causas, a veces la realización de prácticas presenciales no es plausible. La cantidad de horas asignadas a estas asignaturas para impartir un currículum extenso (sobretodo en algunos cursos, como 2° Bachillerato), las circunstancias económicas y sociales de cada centro particular (que puedan impedir la adquisición de material o la habilitación de espacios adecuados) o la sobrecarga de trabajo de los docentes pueden conllevar a la imposibilidad de preparar y llevar a cabo dichas experiencias. Además, escenarios excepcionales, como la situación pandémica del Covid-19 o casos de atención educativa domiciliaria, pueden imposibilitar la asistencia presencial a los centros, o incluso la presencia de alumnos con problemas psicomotrices, lo que les impediría la realización de los experimentos de laboratorio habituales.

A lo largo de los años y con el avance de la tecnología, se han originado diversas alternativas al laboratorio presencial. Sin embargo, todas adolecen de su incapacidad para familiarizar a los discentes con la manipulación de instrumentos reales y con los procesos de toma y análisis de datos. Es por ello que se ve la necesidad de idear una nueva técnica que se encuentre a medio camino entre un laboratorio presencial y el resto de opciones. El diseño de esta técnica es el objetivo principal de este trabajo.

El presente documento estará dividido en cuatro secciones. En la primera, se ofrecerá una breve contextualización del desarrollo de las diferentes alternativas al laboratorio presencial, con sus ventajas e inconvenientes. Después, se procederá a describir de forma general la técnica ideada, a través de una serie de pasos comunes a todos los experimentos que se diseñen. A continuación, se expondrán cuatro ejemplos concretos de prácticas elaboradas mediante esta técnica, con enlaces adjuntos que llevarán a los vídeos grabados de donde se extraen los resultados. Por último, unas conclusiones acerca de lo que esta nueva técnica puede conllevar en su aplicación práctica. Se adjun-

tan además dos anexos, uno con todos los resultados adicionales que no se han incluido en el documento por economía de espacio, y otro con las plantillas adjuntas de algunos de los diseños utilizados en ciertas prácticas.

La mayor parte de la bibliografía y software empleados se encuentra en abierto. Esto permite su acceso por los centros educativos, los cuales rara vez poseen suscripciones a revistas, y que podrían no disponer de los fondos necesarios para el acceso a este tipo de material.

Para finalizar, en el texto aparecen enlaces a una serie de vídeos. Por la propia naturaleza de los repositorios de la UVA, esos enlaces solo se encontrarán disponibles durante un año desde la creación de los mismos. En caso de haber caducado los enlaces y desear visualizar las grabaciones, pueden ponerse en contacto con el autor a través del siguiente correo electrónico: "dmgtrab@gmail.com".

Capítulo 2

Contextualización

Durante muchos años, se han buscado e ideado diversas técnicas para complementar el aprendizaje de las asignaturas de Ciencias. La más conocida consiste en la realización de prácticas de laboratorio aunque, por causas económicas o temporales, suele ser más común su presencia en Estudios Superiores que en los niveles de Secundaria y Bachillerato. A continuación, se van a presentar los modelos más comúnmente empleados, los cuales han sido ampliamente estudiados para corroborar su desempeño.

1 Laboratorio presencial

La asistencia presencial a prácticas de laboratorio es utilizada de forma común en todos los niveles educativos aunque, debido a limitaciones económicas, temporales y espaciales, suele ser más frecuente en estudios científicos de nivel superior.

Es conocido que la utilización del laboratorio en la enseñanza es beneficioso y permite una mejor comprensión de los conceptos. La mayoría de estudios demuestran que la educación que combina el método práctico de laboratorio con el expositivo presenta mejores resultados en el proceso de enseñanza-aprendizaje que la que solo aplica el tradicional. El análisis y resultado de gran parte de estos trabajos ha sido recopilado por Hofstein (2017) [16].

2 Empleo de grabaciones de experimentos de laboratorio

Consiste en la sustitución de experiencias presenciales de laboratorio por vídeos donde se ejecutan los experimentos. Las posibilidades y beneficios del uso de vídeos en la enseñanza han sido discutidos extensamente en la literatura (Cabero-Almenara, 1995)

[8]. Adicionalmente, se ha demostrado que el empleo de experimentos filmados es prácticamente equivalente a la realización de experimentos tradicionales en un laboratorio, exceptuando en el área de las habilidades manipulativas, en las que sigue siendo más ventajoso el método presencial (Ben-Zvi et al., 1976) [6].

La difusión de material didáctico a través de la grabación de vídeos de distintas experiencias puede complementar los laboratorios presenciales tradicionales, fomentando la competencia digital de los alumnos, como en el trabajo presentado por Torres-Climent (2009) [31], donde los alumnos son los que filman los vídeos a la vez que realizan el experimento. Usualmente, se utilizan de forma aislada, con el objetivo de complementar la formación de conceptos específicos del temario (Sánchez, 2007) [29] o como preparación previa de los discentes para facilitar su posterior aplicación *in situ* (Cameán-Fernández et al., 2005) [9]. Cabe señalar que, debido a la situación pandémica provocada por el COVID 19, se vio la necesidad de recurrir a estas tecnologías como sustituto del laboratorio presencial (García et al., 2020) [15].

3 Empleo de simulaciones de experiencias de laboratorio

Consiste en el empleo de simulaciones computacionales interactivas, en las cuales se emulan experiencias de laboratorio, pudiendo modificar muchos factores externos cuya manipulación sería infactible en un laboratorio real de instituto; por ejemplo, la temperatura ambiente. Esto permite a los alumnos un mayor control de las variables, lo que favorece una mejora de su implicación y de su interés por la experimentación individual (Cezar et al., 2024) [11]. Además, el uso de simulaciones facilita la comprensión de procesos cuya comprobación empírica es inviable en un laboratorio de Educación Secundaria por su nocividad o peligrosidad: se ha demostrado que su eficacia es mayor que las clases teóricas tradicionales (Nkemakolam et al, 2018) [22]. Las simulaciones no deben sustituir de forma íntegra a los experimentos presenciales, sino funcionar como un complemento que permita una mejoría en la transmisión de conocimiento, para su posterior aplicación en un laboratorio real u otros contextos (Lagowski, 2005) [18]. Con el objetivo de que este proceso se produzca de manera eficaz, es necesario que la interfaz de la aplicación sea ordenada, y su diseño no sea ambiguo y poco intuitivo (Rodrigues, 2007) [27].

El ejemplo más conocido y empleado de este tipo de experiencias está ofrecido por la Universidad de Colorado, que ofrece una serie de simulaciones gratuitas relacionadas con diversos ámbitos de la ciencia [32]. Numerosos docentes e investigadores emplean estas recreaciones para sus investigaciones (Adams, 2010) [1] y defienden la mejora en el interés de los estudiantes gracias a su profesional y comprensible diseño (Ben-Ouahi et al., 2021 [5]; Perkins et al., 2012 [24]). Otro ejemplo similar puede encontrarse en la página web “falstad.com” [14], con simulaciones más realistas.

4 Método tradicional sin laboratorio

El método tradicional, sin encontrarse complementado con ninguna clase de laboratorio presencial o método que trate de emularlo. Se utiliza cuando las circunstancias económicas o temporales impiden la realización de otros tipos de técnica, aduciendo a que es igualmente eficaz en la transmisión de conceptos teóricos que las prácticas presenciales. Sin embargo, estos argumentos no tienen en cuenta los conocimientos relacionados con la identificación y manipulación de los instrumentos de laboratorio (Bates, 1978) [4].

5 Conclusiones

Puede comprobarse que todas las alternativas desarrolladas al laboratorio tradicional han sido ideadas como actividades complementarias a las sesiones presenciales o como sustitución parcial de este; aunque está demostrado que son capaces de transmitir conceptos teóricos de manera íntegra, fallan en la instrucción acerca de contenidos procedimentales del área manipulativa, como la familiarización y manejo de los instrumentos de laboratorio. Por ello, se ve necesaria el desarrollo de una nueva técnica que se localice a medio camino entre el laboratorio presencial y sus alternativas. La técnica seguirá un procedimiento muy similar al desarrollado por Rojas-Melgarejo (2007) [28], pero incluyendo la grabación de las operaciones con los materiales de laboratorio, con el objetivo de familiarizar a los discentes con los procedimientos de trabajo y evitar las lagunas producidas por la ausencia de una presencialidad.

Capítulo 3

La técnica

El objetivo de este trabajo consiste en elaborar una técnica de creación de prácticas de laboratorio semipresenciales, que permita la familiarización de los alumnos con los instrumentos y la extracción de los datos como si fueran ellos mismos los que las estuvieran realizando, aunque no puedan manipular los instrumentos. Todas estas experiencias deberán compartir una serie de requisitos:

- **Materiales económicos.** Puesto que es necesario el montaje de las prácticas por parte de los docentes, los materiales deben ser asequibles, aunque no pueda evitarse el empleo de algún instrumento de carácter más técnico, como las fuentes de alimentación. En muchos de los casos, se reutilizan componentes sobrantes de otros proyectos, lo que permite evitar la adquisición innecesaria de material y ayuda a reducir los residuos producidos.

- **Montajes sencillos.** Los experimentos deben ser claros, con una precisión adecuada al nivel educativo al cual se imparte, destacando los conceptos que se quieren transmitir y eludiendo montajes que puedan ser confusos o innecesariamente complejos. El objetivo es facilitar la transmisión de conocimientos, no diseñar artilugios de exactitud astronómica.

- **Grabaciones útiles.** Al filmar los experimentos, es necesario que todas las escalas y pantallas puedan observarse y leerse nítidamente. Por lo tanto, hay que asegurarse de que el enfoque es correcto en el instante de comenzar a grabar.

- **Edición adecuada.** Si existe un intervalo de tiempo muerto al inicio o al final del vídeo, o parte de la captura muestra elementos ajenos a la experiencia, es necesario editarlos para eliminarlos. Una buena edición permite suprimir secciones que puedan distraer del objetivo primordial de la práctica.

- **Obtención de resultados.** Las prácticas no deben ser meras demostraciones de cátedra; deben permitir la extracción y análisis de resultados, con el objetivo de proporcionar una experiencia lo más cercana posible a un laboratorio real.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, va a comentarse con mayor profundidad las cuatro secciones de las que consta cada proceso de elaboración de una práctica con esta técnica.

1 Diseño y montaje

En primer lugar, debe elegirse el concepto físico que quiere transmitirse. Para ello, se analizará el currículum del nivel seleccionado y se buscarán aquellos contenidos en los que fuera conveniente una demostración práctica para una completa formación. A partir de esto, podrá diseñarse la práctica pertinente. Puesto que la práctica debe poder montarse físicamente, es conveniente no idear montajes excesivamente complicados o poco realistas; es preferible una práctica con un montaje conocido que no una improvisación que requiera de materiales caros, con un diseño delicado o cuyo funcionamiento en condiciones reales no esté asegurado.

Para montar la práctica, se enumerarán los materiales a utilizar. Es conveniente que estos sean económicos o se encuentren ya en el laboratorio del instituto. En muchos casos, puede buscarse en el taller de Tecnología material sobrante y reutilizarlo para abaratar costes.

Una vez se cuente con los materiales, se fabricará el experimento, teniendo en cuenta que cada uno de sus componentes debe ser identificable para los estudiantes. Se realizan pruebas de la práctica y, si son exitosas, puede continuarse con la siguiente fase.

2 Grabación de vídeos

Para filmar las experiencias, no es necesaria una cámara profesional; una cámara de vídeo usual, un teléfono móvil o una webcam de ordenador pueden emplearse sin ocasionar pérdidas en la precisión de los experimentos. Puesto que se necesita que la grabación muestre de forma correcta las medidas, la posición de la cámara será fundamental: debe encontrarse a la distancia y orientación adecuadas, y su enfoque debe poseer la nitidez necesaria. Para lograrlo, es conveniente el empleo de un trípode fotográfico que permita el movimiento en las tres direcciones del espacio. Si se desea utilizar un teléfono móvil, también será indispensable un soporte que permita el acople de este al trípode. En todas las prácticas que se detallarán en el siguiente capítulo se van a emplear estos dos elementos, por lo que no se volverán a mencionar de forma explícita.

Figura 3.1: Soporte de acople entre el trípode fotográfico y el teléfono móvil. Fuente: elaboración propia.

Figura 3.2: Trípode con el soporte acoplado. Fuente: elaboración propia.

Figura 3.3: Detalle del trípode con el soporte acoplado. Fuente: elaboración propia.

Además, es necesario comprobar que la iluminación sea adecuada. Unas malas condiciones de iluminación pueden ocasionar reflejos indeseados que estropeen la lectura de las pantallas de los aparatos, o incluso el propio experimento en caso del campo de la Óptica. Es posible que haya que mover todo el montaje a otro espacio con una iluminación más óptima o idear alguna clase de pantalla que aísle de la luz parásita.

3 Edición de vídeos

Una vez grabado el vídeo, es necesario editarlo para eliminar todo el metraje que no sea esencial para la práctica, o preparar las grabaciones para su posterior análisis. Todo este proceso puede realizarse mediante Kdenlive [17], un software gratuito de código abierto que permite la edición de vídeo y audio.

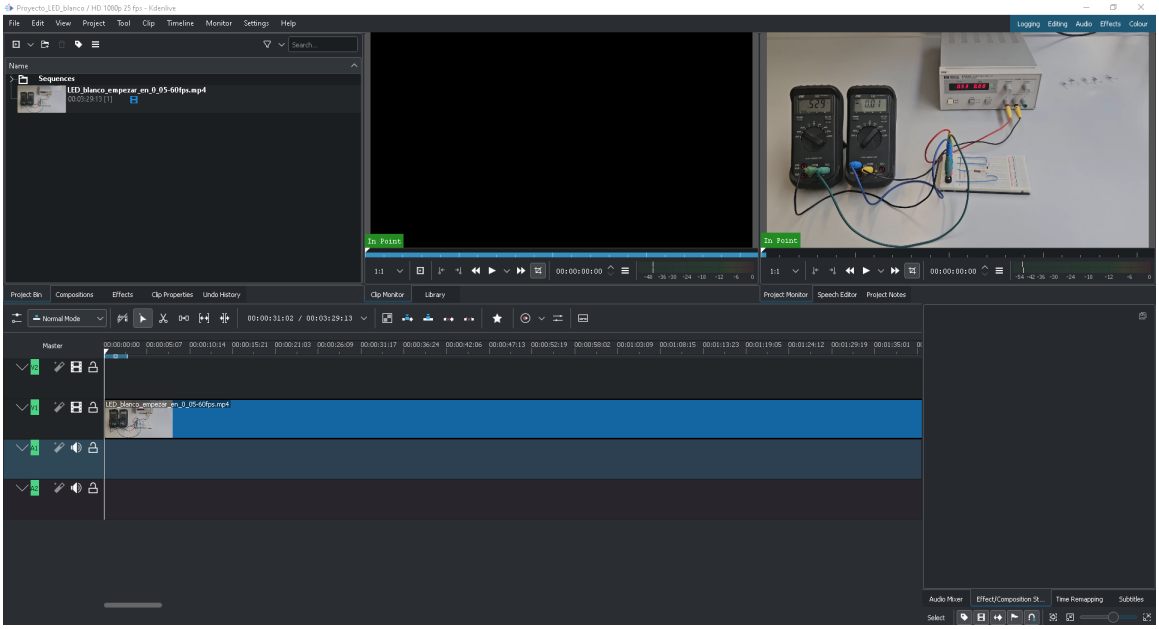


Figura 3.4: Captura de pantalla de la interfaz de Kdenlive. Fuente: elaboración propia.

Kdenlive posee un amplio abanico de funcionalidades, por lo que solo van a describirse aquellas que se han empleado a lo largo de la edición de las grabaciones de las prácticas descritas en el siguiente capítulo.

Desagrupar clips. Permite separar en pistas distintas el vídeo del audio. Esto se utiliza para eliminar el sonido de las grabaciones en las que es irrelevante. Para ello, pinchar click derecho sobre la pista que sea desea separar, y clicar en la opción *Ungroup clips*.

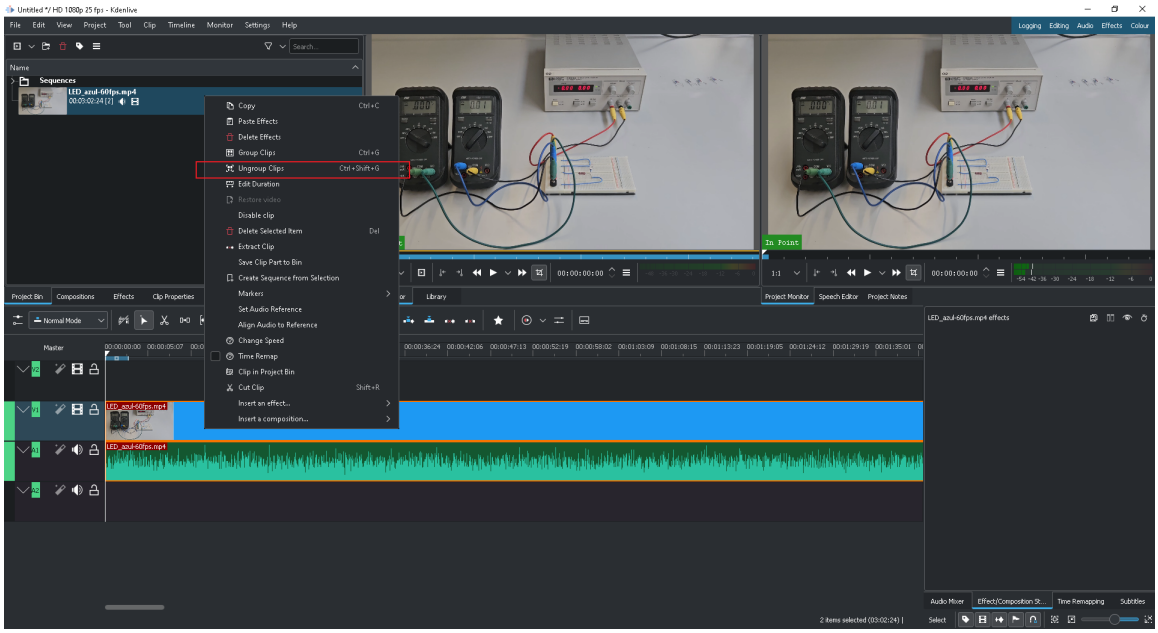


Figura 3.5: Opción para desagrupar clips en Kdenlive. Fuente: elaboración propia.

Cortar clips. Se utiliza para dividir la pista en varias secciones, permitiendo su manipulación individual. Útil para eliminar los tiempos muertos iniciales y finales donde no se ha comenzado con el experimento. Para aplicarlo, pinchar en el icono de las tijeras llamado *Razor tool*; aparecerá una línea roja encima del cursor que dividirá la pista al clicar en el lugar deseado.

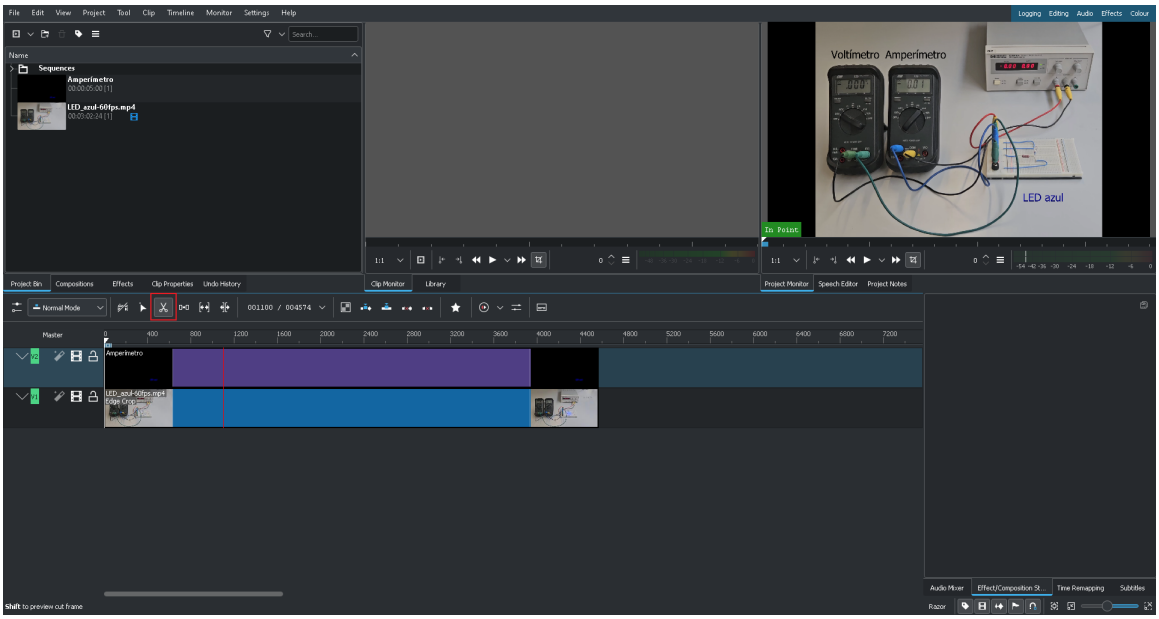


Figura 3.6: Opción para cortar clips en Kdenlive. Fuente: elaboración propia.

Recortar bordes. Empleado para reducir la imagen mostrada por el vídeo, eliminando fragmentos no relacionados con el experimento; por ejemplo, porciones de la pared o del suelo que puedan visualizarse debido al amplio campo de la cámara. Se aplica pinchando sobre un clip y, en la pestaña de efectos *Effects*, dentro de la subpestaña *Transform, Distort and Perspective*, seleccionar la opción *Edge Crop*. Se abrirá un cuadro en la sección inferior derecha donde puede controlarse el número de píxeles que se eliminan a partir de los cuatro bordes de la imagen.

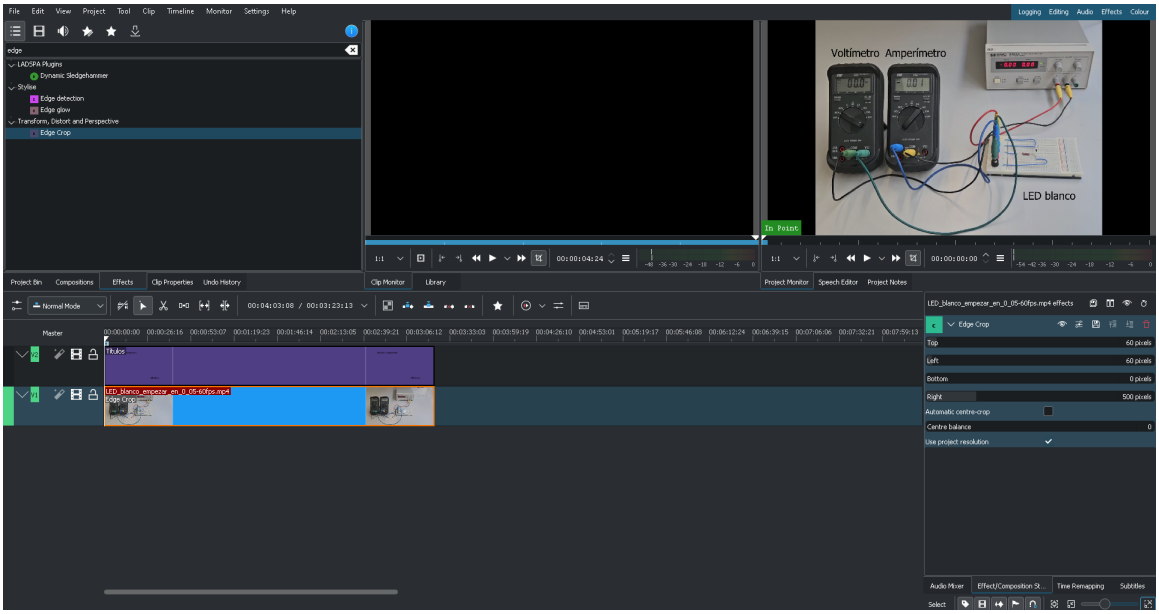


Figura 3.7: Opción para recortar bordes en Kdenlive. Fuente: elaboración propia.

Añadir texto. En algunas ocasiones, puede ser conveniente añadir texto a los vídeos, para identificar los aparatos de medida o especificar aclaraciones. Esto puede realizarse en la pestaña de *Project bin*, haciendo click derecho sobre un hueco vacío en la lista de secuencias y pulsando *Add Title Clip*. Se abrirá una ventana que permitirá añadir textos, pudiendo editar todas sus características, como la posición, el tamaño o el color. Una vez seleccionadas las propiedades deseadas, pulsar en *Create Title* para crear un clip, que puede arrastrarse hasta la sección de pistas para incorporarlo como una independiente, pudiendo elegir los intervalos de tiempo en los que se mostrará el texto.

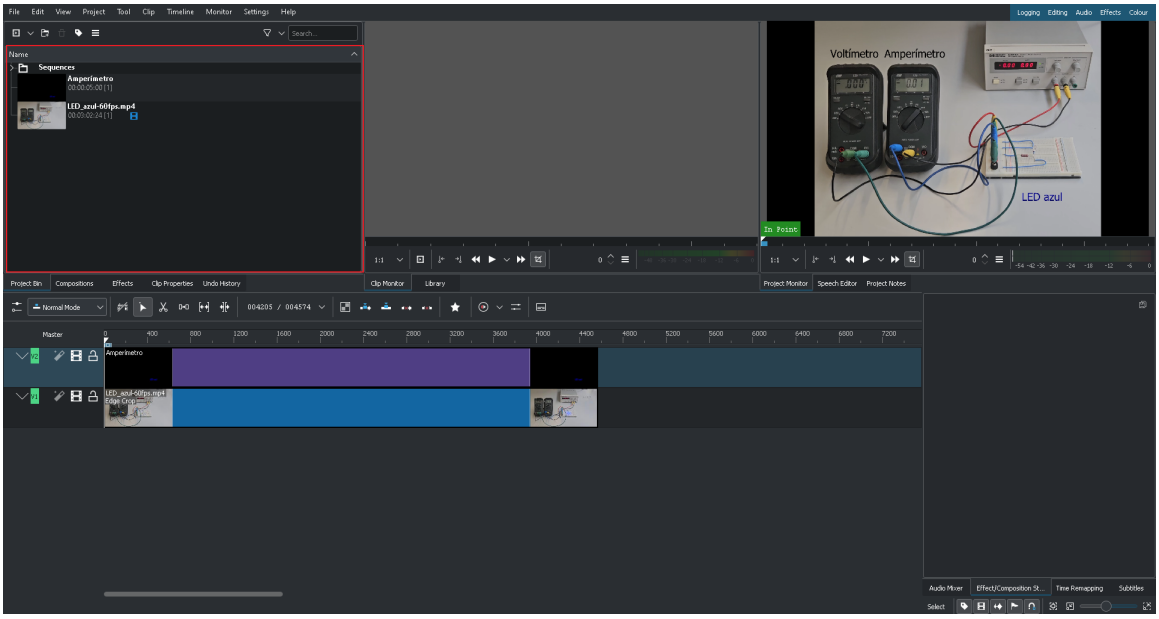


Figura 3.8: Captura de pantalla de Kdenlive donde se encuentra resaltada la lista de secuencias del *Project bin*. Fuente: elaboración propia.

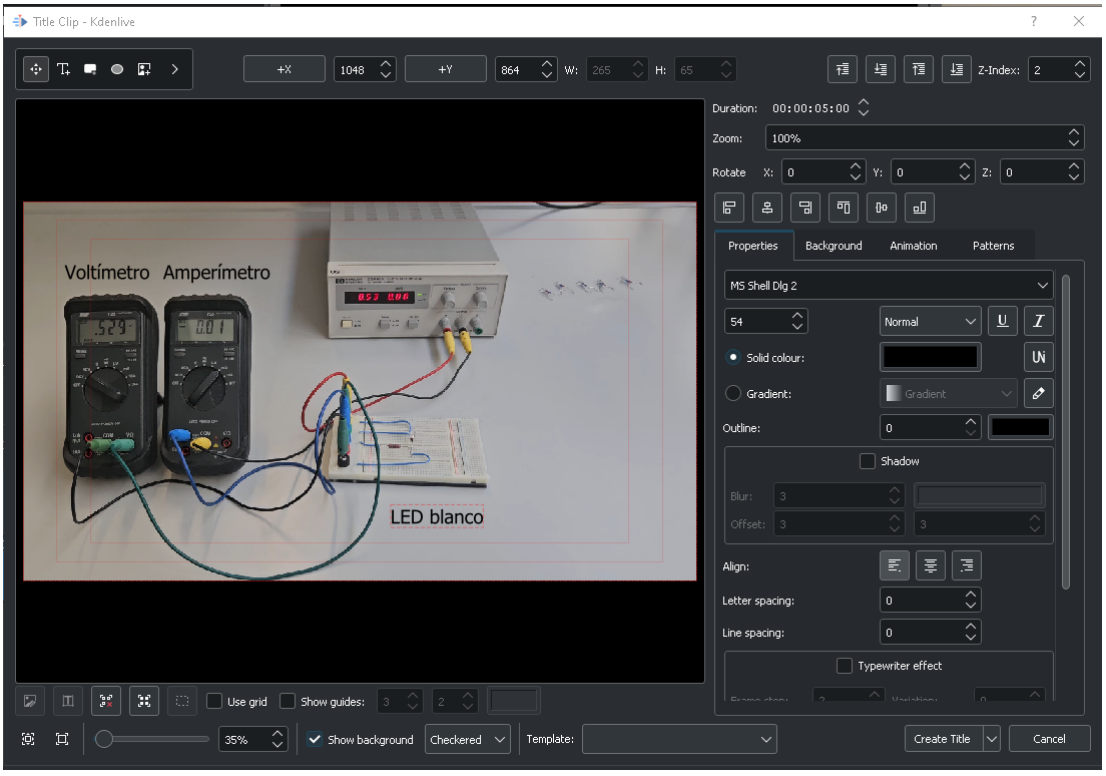


Figura 3.9: Ventana emergente para crear clips de texto. Fuente: elaboración propia.

Secuencia de imágenes. En algunos casos, puede ser necesario montar un vídeo con una ráfaga de fotos tomadas cada cierto tiempo, en lugar de un vídeo completo. Para esto, en la barra superior, existe en *Project* la opción de *Add Image Sequence*. Esto abrirá una ventana emergente donde puede seleccionarse una carpeta entera de imágenes con un determinado formato, de manera que cada una de ellas se muestre durante un intervalo de tiempo específico.

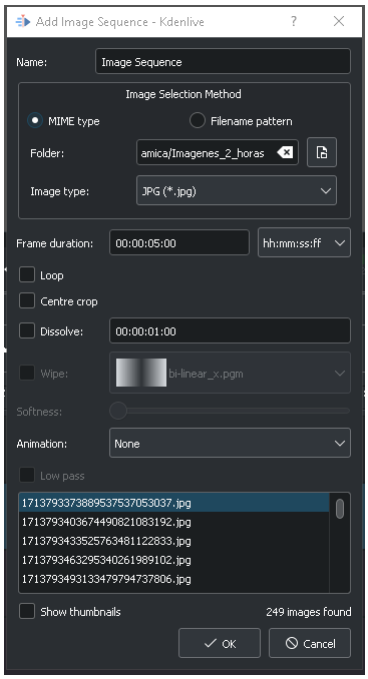


Figura 3.10: Ventana emergente para crear un vídeo integrado por una secuencia de imágenes. Fuente: elaboración propia.

Sincronizar vídeos. En caso de desear montar un vídeo que contenga dos grabaciones simultáneas, será necesario crear un clip de color que actúe como fondo de referencia. Esto se realiza de la misma forma que para añadir un clip de texto, pero pulsando la opción de *Add Colour Clip* en la pestaña de *Project bin*. Esto abrirá una ventana emergente que permitirá seleccionar diversas opciones del clip a crear. Una vez hecho, arrastrar de la misma forma que se hizo con el clip de texto.

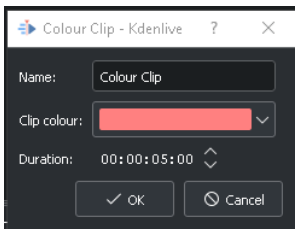


Figura 3.11: Ventana emergente para crear un clip de color. Fuente: elaboración propia.

Una vez creado, será necesario diseñar una composición para colocar los dos vídeos en la posición correcta. En primer lugar, aplicar el efecto *Edge Crop* como se ha explicado anteriormente, para recortar los bordes innecesarios. Después, en la pestaña *Compositions*, arrastrar la opción *Composite* a la parte inferior del clip, lo que permitirá crear una composición entre los diversos clips; esto implica que se encontrarán dentro de una misma capa, de manera que ninguno se sobreescriba por encima de otro. Para sincronizar los vídeos sería conveniente además haberlos grabado con alguna clase de referencia auditiva, como una palmada, de forma que la forma del audio facilite la sincronización.

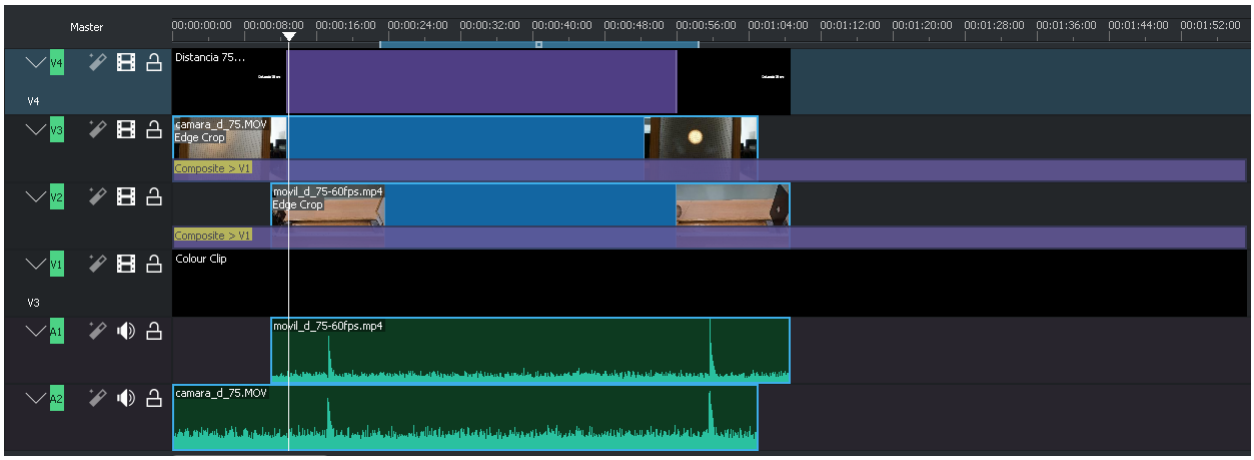


Figura 3.12: Aspecto de dos clips sincronizados. Fuente: elaboración propia.

Procesar vídeo. Para terminar, es necesario procesar el vídeo para obtener un archivo funcional. Para ello, en la barra superior, existe en *Project* la opción de *Render*, que abre una ventana emergente con diversas funciones de procesado, donde puede seleccionarse el formato en el que se publicará la grabación, entre otras opciones.

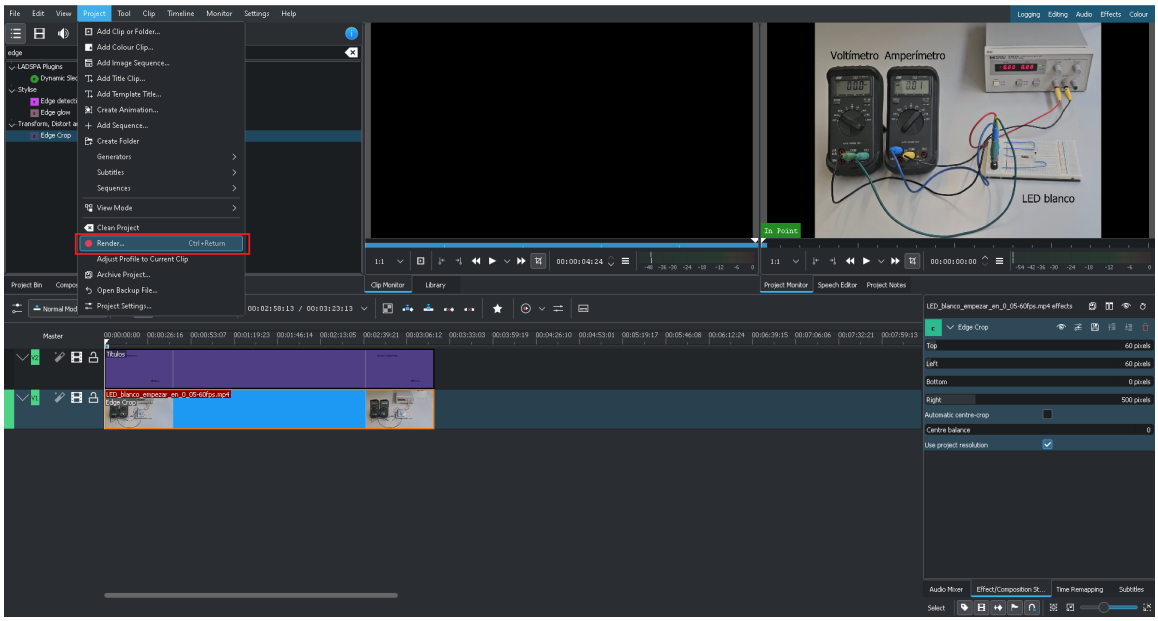


Figura 3.13: Opción para procesar vídeos en Kdenlive. Fuente: elaboración propia.

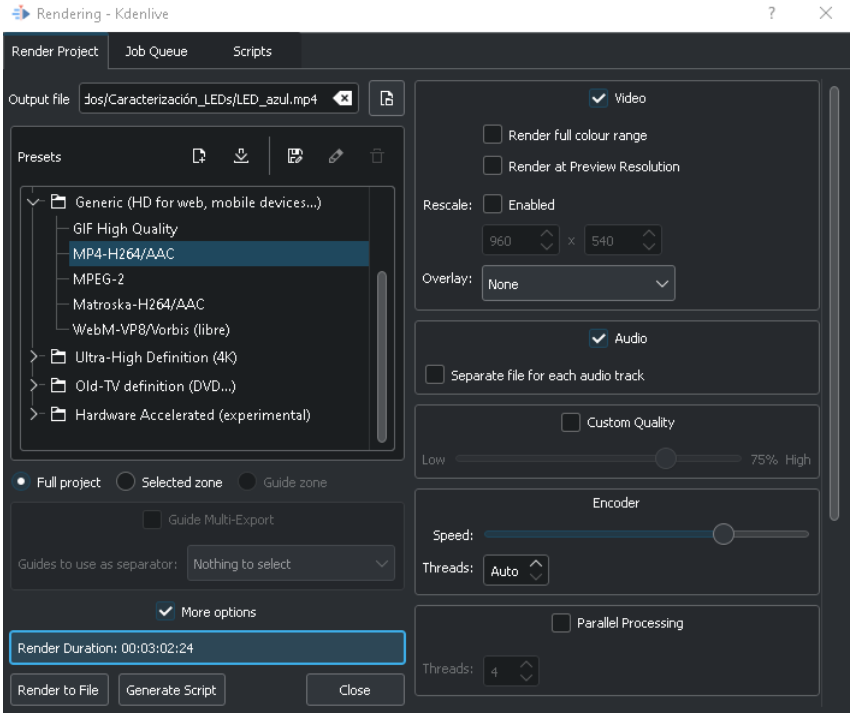


Figura 3.14: Ventana emergente para procesar vídeos. Fuente: elaboración propia.

4 Extracción de resultados

Tras la edición del vídeo, solo queda analizarlo y extraer la información para obtener resultados. Cada experimento poseerá un sistema particular para la adquisición de datos, que puede conllevar la utilización de fórmulas teóricas y de software específico, como Tracker o Audacity. Los resultados deben siempre ir acompañados de una conclusión que resuma los conceptos teóricos demostrados. Para ilustrar mejor este apartado, se realizará una discusión específica en cada práctica diseñada en el presente trabajo, en el apartado correspondiente.

Si bien el trabajo del profesor consiste en comprobar que los resultados que se obtienen del experimento son reproducibles y coherentes, esta sección será la realizada por los alumnos, obteniéndolos a partir de las grabaciones , elaborando tablas de datos y representando gráficas. Para poder realizar esta tarea, se les facilitaría un guion con la misma estructura y contenidos que el elaborado para un laboratorio presencial, de manera que se facilite el paralelismo de estas tareas con un laboratorio real.

Capítulo 4

Experimentos ejemplo

A continuación, van a exponerse cuatro experimentos ejemplo para ilustrar el método descrito en el apartado anterior. Cada uno de estos pertenece a una rama distinta de la Física (Electromagnetismo, Termodinámica, Óptica y Mecánica Clásica), y pueden estar dirigidos a uno o varios niveles de la ESO o Bachillerato. El desarrollo de cada experimento estará dividido en tres apartados.

En primer lugar, se describirá el fundamento teórico en el que se sustenta cada experiencia. Ya que el presente trabajo va dirigido a la elaboración de las prácticas, se incluirán algunos de los desarrollos necesarios para llegar a las expresiones a utilizar, aunque muchos de estos puedan llegar a ser demasiado complejos y no adecuados para su instrucción en el nivel situado; deberá ser decisión del docente el incluir o no esta teoría como información complementaria. Además, se situará cada experimento en uno o más cursos de Secundaria o Bachillerato, ateniéndose siempre a la legislación vigente de Castilla y León [12][13]; en caso de desearse utilizar las prácticas en otra Comunidad Autónoma, deberán adaptarse utilizando la normativa específica en cada circunstancia.

En un segundo apartado, se describirá el procedimiento que se ha llevado a cabo para realizar el montaje de la práctica. Aquí aparecerán englobados todos los materiales que se han empleado, tanto los propios del laboratorio para poder llevar a cabo el experimento como los audiovisuales necesarios para poder capturar las experiencias, así como su disposición espacial. Además, se detallarán los posibles problemas encontrados y las soluciones tomadas para paliarlos. Se observará que, a pesar de la aparente sencillez de los montajes, aparecen inconvenientes técnicos que no se preveían, tanto en la ejecución del experimento como en su grabación.

En un tercer y último apartado, se adjuntará un resumen de los resultados (los valores tomados con mayor profundidad aparecerán en las diversas tablas del Anexo A), junto con una valoración de los conceptos que pueden transmitir a los discentes y las diferentes posibilidades que ofrece en cuanto a sus posibles planteamientos para estos, así como una breve discusión de posibles alternativas que podrían llevarse a cabo

para perfeccionarla o modificarla, si se considera significativo.

Por último, señalar que estos experimentos pueden no poseer la precisión de aquellos propios de un Grado o Master Universitario. Se ha de recordar que la idea es que estas experiencias puedan elaborarse mediante materiales sencillos y baratos, y que deben adecuarse al nivel de Secundaria o Bachillerato. Los resultados obtenidos son reproducibles y suficientemente precisos como para presentar los conceptos que se desean describir, y una mayor complicación podría requerir de explicaciones adicionales, tanto formales como matemáticas, de un nivel superior al que los discentes están siendo expuestos y que no corresponden con el currículum establecido. Por ello, no se tendrán en cuenta efectos adicionales que puedan ofuscar los contenidos que se desean transmitir.

1 Caracterización de un LED

1.1 Fundamento teórico y contextualización

El experimento que se va a describir en esta sección pertenece al área de electromagnetismo. Todo el fundamento teórico detallado a continuación puede encontrarse en Mottier (2009) [20].

Un LED es un material semiconductor capaz de producir luz, utilizado actualmente como la principal fuente de iluminación, ya que presenta una serie de características que lo hacen preferible a otros tipos de iluminación tradicionales (por ejemplo, bombillas incandescentes o lámparas fluorescentes): poseen una mayor eficiencia energética y esperanza de vida, menor consumo de potencia y pueden contenerse en un espacio menor, lo que facilita la reducción de los equipos. Además, emiten en una franja de longitudes de onda muy estrecha, sin la contribución de luz infrarroja o ultravioleta (la luz producida es monocromática y en un solo sentido), y su pérdida energética es mucho menor. En el caso de los LEDs blancos, existen dos aproximaciones en su fabricación: la utilización de tres chips en su producción (rojo, verde, azul), de forma que su combinación origine la luz blanca; o la deposición en su superficie de emisión de un material de fósforo que re-emite la luz en otros colores, cuya combinación total da lugar a la luz blanca.

Los LEDs únicamente permiten el paso de corriente en una sola dirección, emitiendo luz cuando la corriente eléctrica los atraviesa. Consiste en un chip fabricado con un material semiconductor dopado con impurezas, las cuales permiten crear una unión PN, formada por un semiconductor P y un semiconductor N separados por una región vacía. La corriente puede fluir fácilmente de la región P (el ánodo) a la N (el cátodo), pero no en sentido contrario. Cuando un electrón cruza la región vacía desde la P hasta la N, se produce un fenómeno de electroluminiscencia, originándose fotones. A nivel técnico, la estructura de los LEDs no es trivial, ya que poseen estructuras variadas bastante complejas, estando compuestos normalmente de diversos materiales semiconductores

apilados.

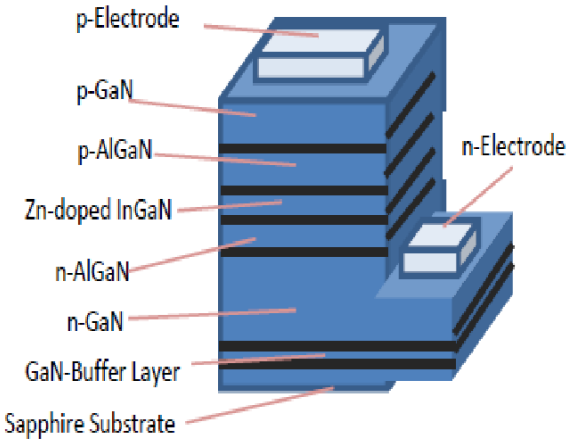


Figura 4.1: Ejemplo de la estructura de un LED azul. Fuente: Oduah y Wu (2015) [23].

La energía de los fotones liberados al hacer circular corriente continua por un LED depende del material del que esté fabricado; puesto que la longitud de onda depende de la energía ($E = h\nu$), el color de la luz producida variará según su composición. Además, para que se produzca el paso de los electrones es necesario alcanzar un determinado potencial, el voltaje umbral, a partir del cual estos poseen suficiente energía como para saltar la región vacía; este potencial dependerá de la composición del LED, es decir, LEDs de diferentes colores poseerán diferentes voltajes umbral. Representando el voltaje medido en el LED frente a la intensidad puede obtenerse la curva característica del LED, que variará dependiendo de la longitud de onda que emita.

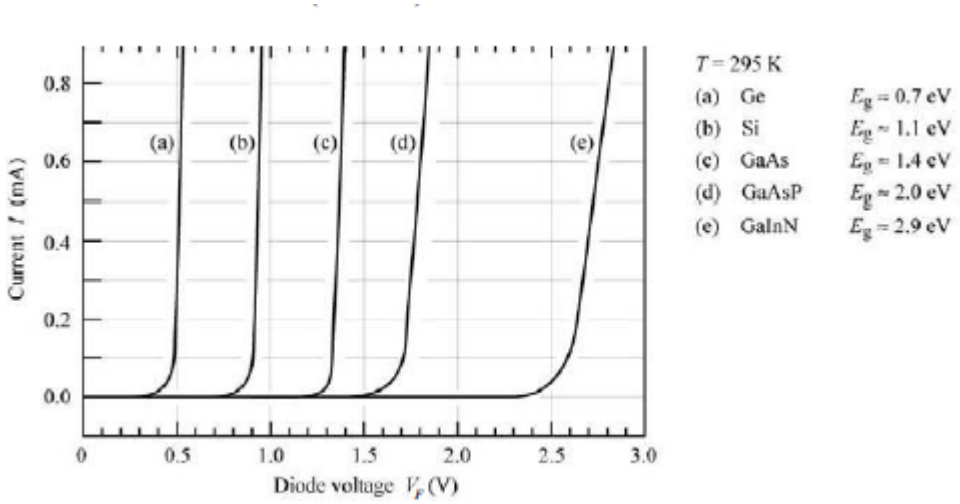


Figura 4.2: Curvas características de LEDs de diferente composición. Fuente: Mottier (2009) [20].

Esta práctica parece adecuada para la asignatura de Física y Química del curso 3° ESO, englobada en el bloque C, "La energía", en el apartado "Naturaleza eléctrica de la materia: electrización de los cuerpos, conductores y aislantes y circuitos eléctricos. Aplicación de la Ley de Ohm a la resolución de circuitos eléctricos sencillos. Obtención de la energía eléctrica: aspectos industriales y máquinas eléctricas. Concienciación sobre la necesidad del ahorro energético y la conservación sostenible del medio ambiente", que aparece estipulado en el Decreto 39/2022 de la Comunidad de Castilla y León [12]. Puede utilizarse para explicar los conceptos sobre corriente eléctrica y circuitos en serie y en paralelo, y para introducir nociones relacionadas con el ahorro energético, presentando los LEDs como la alternativa encontrada para reducir el consumo comparada con otras fuentes de iluminación ya en desuso, lo cual a su vez permitiría trabajar la Competencia Ciudadana. A su vez, podría emplearse en la Física y Química del curso 4° ESO, englobada en el bloque B, "La materia", en el apartado "Modelos atómicos: desarrollo histórico de los principales modelos atómicos clásicos y cuánticos y descripción de las partículas subatómicas, estableciendo su relación con los avances de la física y de la química", del mismo documento, introduciéndolo como uno de las aplicaciones de la física cuántica, asociando la energía del fotón con su longitud de onda y relacionándolo con los conceptos de electromagnetismo explicados el curso anterior.

1.2 Montaje de la práctica

El montaje de esta práctica es el más sencillo de todos, ya que únicamente se basa en la construcción de un circuito muy elemental. Los materiales de laboratorio a utilizar son:

- Diodos LED de distintos colores. Las fuentes de iluminación que se desean caracterizar. Dependiendo de su color, el voltaje umbral y, por lo tanto, la forma de la curva de caracterización variarán. En este caso, se han empleado LEDs de los siguientes colores: blanco, azul, naranja y rojo.
- Fuente de alimentación de corriente continua. Proporcionará la diferencia de potencial al circuito, y permitirá regular el voltaje suministrado al LED.
- Multímetros. Uno de ellos actuará en modo voltímetro (DCV), y el otro en modo amperímetro, preparado para medir miliamperios (mA).
- Resistencia de 150 Ω. Actúa como medida de protección para evitar que pueda fundirse el LED.
- Placa de prueba para circuitos, donde se montarán los componentes.
- Cables de conexión, que permiten unir los diferentes elementos del circuito.

El circuito a montar consistirá en la conexión de la fuente de alimentación, el diodo LED, la resistencia y el amperímetro en serie, incorporando el voltímetro en paralelo

respecto al LED. De esta manera, el amperímetro medirá la corriente que circula por el circuito, y el voltímetro la caída de potencial producida en el diodo.

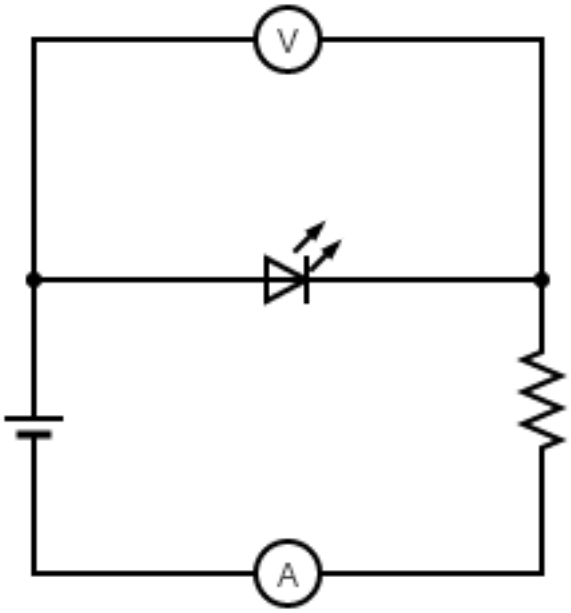


Figura 4.3: Esquema eléctrico del circuito. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.4: Montaje completo de la práctica. Fuente: elaboración propia.

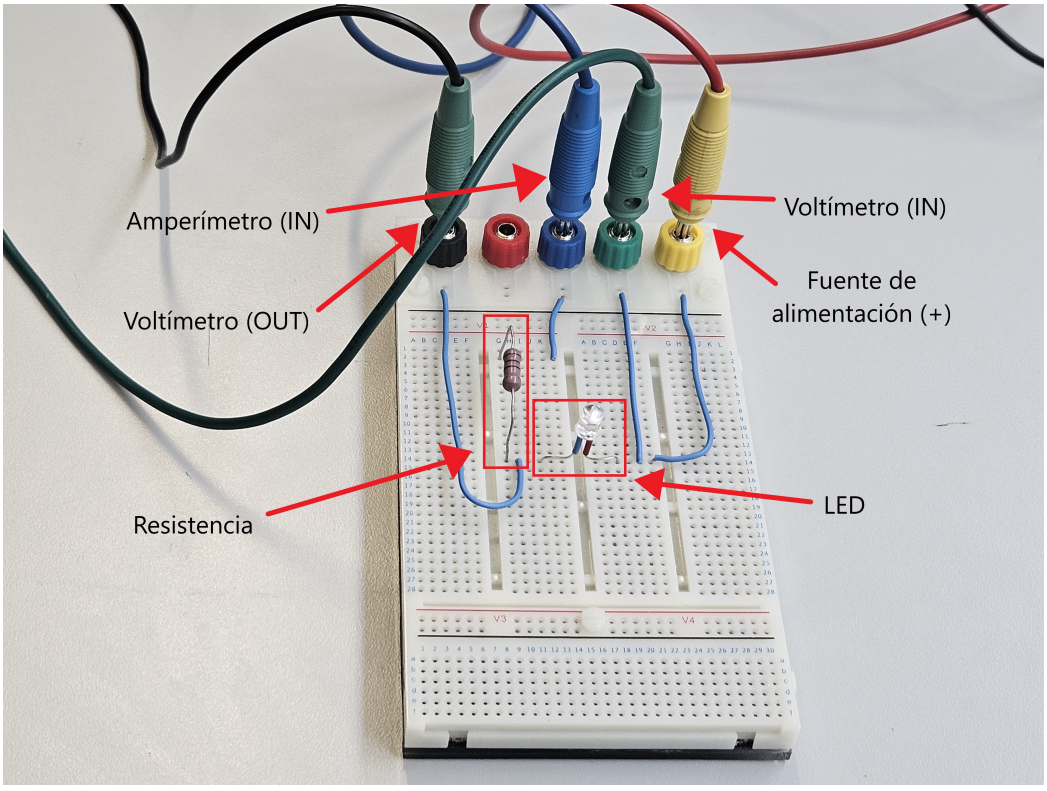


Figura 4.5: Montaje del circuito eléctrico de la práctica. Fuente: elaboración propia.

Un buen procedimiento para comprobar si el LED está conectado con la polaridad adecuada es aplicar un voltaje de hasta unos 3 voltios: en caso de que no circule corriente, significará que está montado al revés. Esto permite evitar seguir aplicando potencial en polaridad inversa, lo que acabaría provocando la ruptura del LED.

Una vez preparado el circuito, se colocará el teléfono móvil en el trípode fotográfico. El objetivo será grabar un vídeo con cada LED en el que se vaya modificando el voltaje de la fuente de alimentación, de forma que se puedan observar los valores registrados de potencial y corriente en el voltímetro y el amperímetro, respectivamente. No es un montaje especialmente complejo, ya que solo se requiere que se capturen de forma correcta las pantallas de los dos multímetros, el medidor de la fuente de corriente y el LED.

Figura 4.6: Disposición de la cámara fotográfica para la grabación de la experiencia del LED. Fuente: elaboración propia.

Para la facilitar la correcta adquisición de los datos, se ha ido aumentando poco a poco el voltaje suministrado por la fuente de alimentación, deteniendo el incremento cada cierto tiempo para facilitar la estabilización de los valores arrojados por el voltímetro y el amperímetro. El estudiante podrá aprovechar estas paradas para adquirir los datos, teniendo en cuenta que hay muchas más paradas que valores son necesarios. Con las dos lecturas obtenidas a partir de los multímetros en el vídeo, puede construirse la curva característica de cada LED.

1.3 Resultados obtenidos y discusiones

Los enlaces a los vídeos grabados de los que se han obtenido los resultados se encuentran en los subapartados correspondiente a cada uno de los LEDs.

LED blanco

https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EbIx2owQ2p1DuUxe3_LuZuYBckKCC514MJHf2faZKvXd8A?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=zy1guV

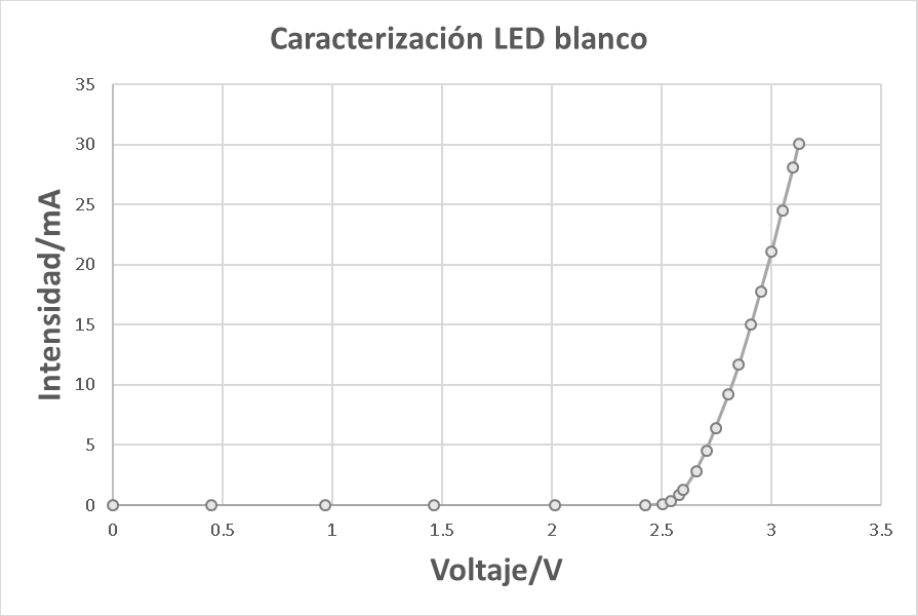


Figura 4.7: Caracterización de la curva de un LED blanco. Fuente: elaboración propia.

LED azul

https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EQ9R7lO7DNZCrdUma_QITQsBlHbsCFQ2ePrGx-rMx6Aakg?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGluaONvcHkifX0&e=IYhRAa

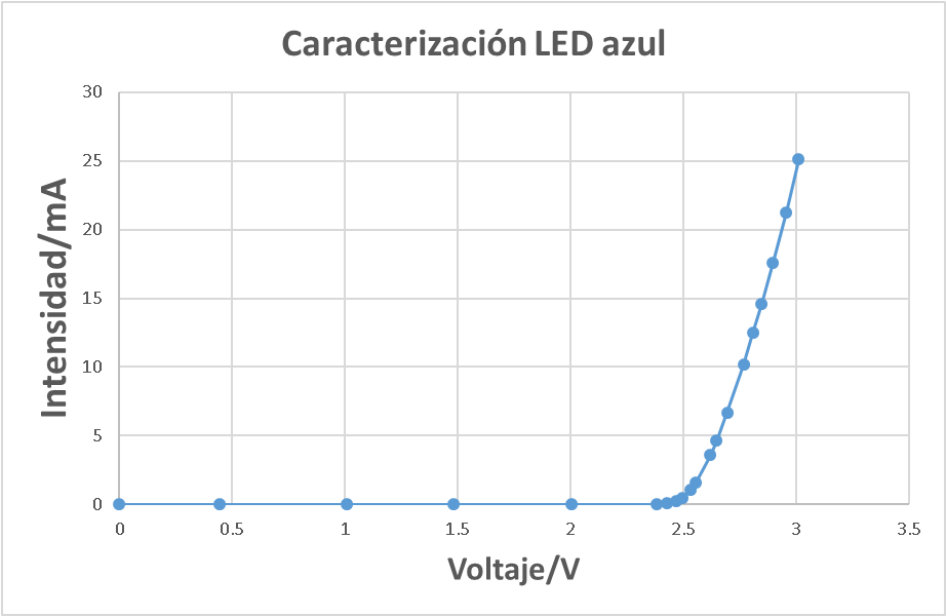


Figura 4.8: Caracterización de la curva de un LED azul. Fuente: elaboración propia.

LED naranja

https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EX02SjFem9hChtgFFzL7jBkBbdpWeTdksx6fXdNF52eFYg?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGluaONvcHkifX0&e=LBCWCo

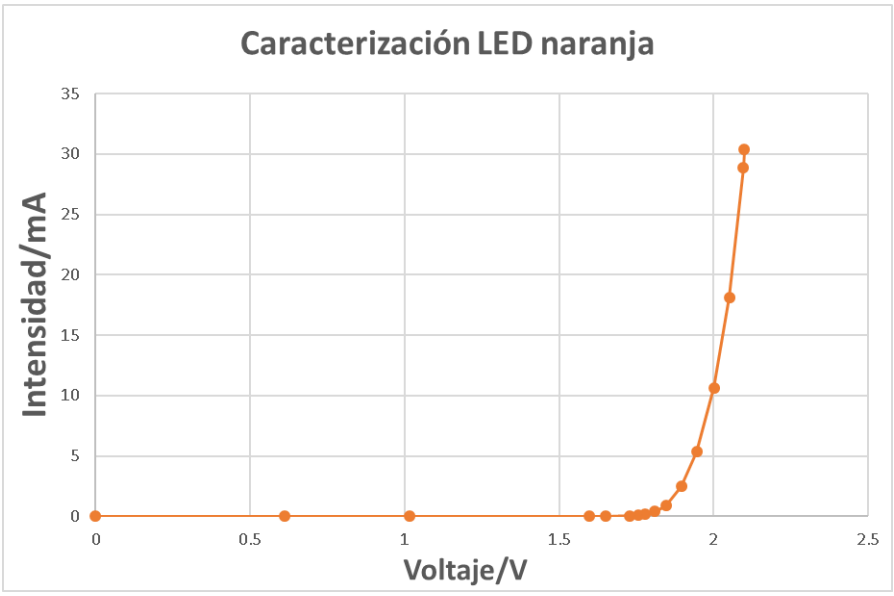


Figura 4.9: Caracterización de la curva de un LED naranja. Fuente: elaboración propia.

LED rojo

https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EaZRFahdC6BIrNj6GlgjbuUBiSYJ4q1EIj0TfY4prOzWuw?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=5AYcQ9

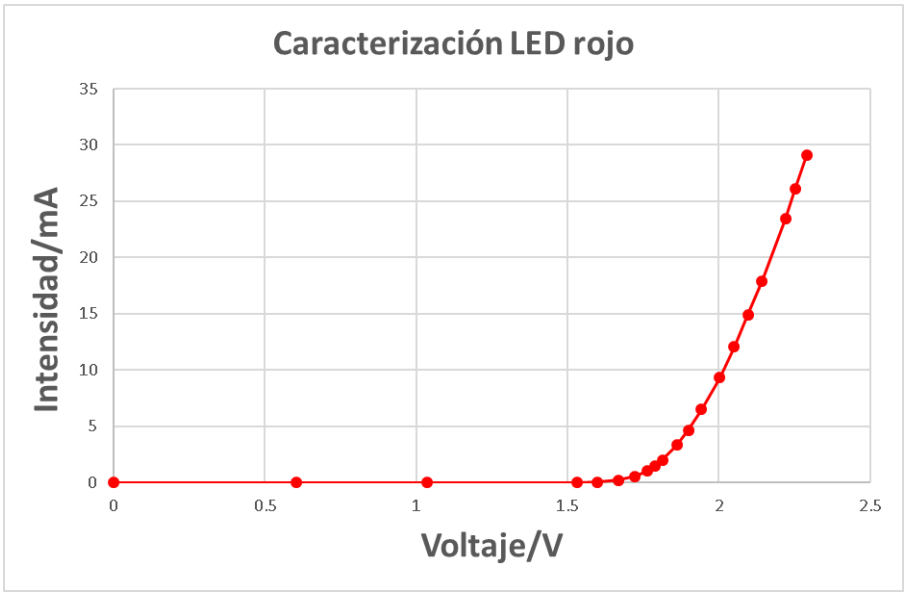


Figura 4.10: Caracterización de la curva de un LED rojo. Fuente: elaboración propia.

Todos los LEDs

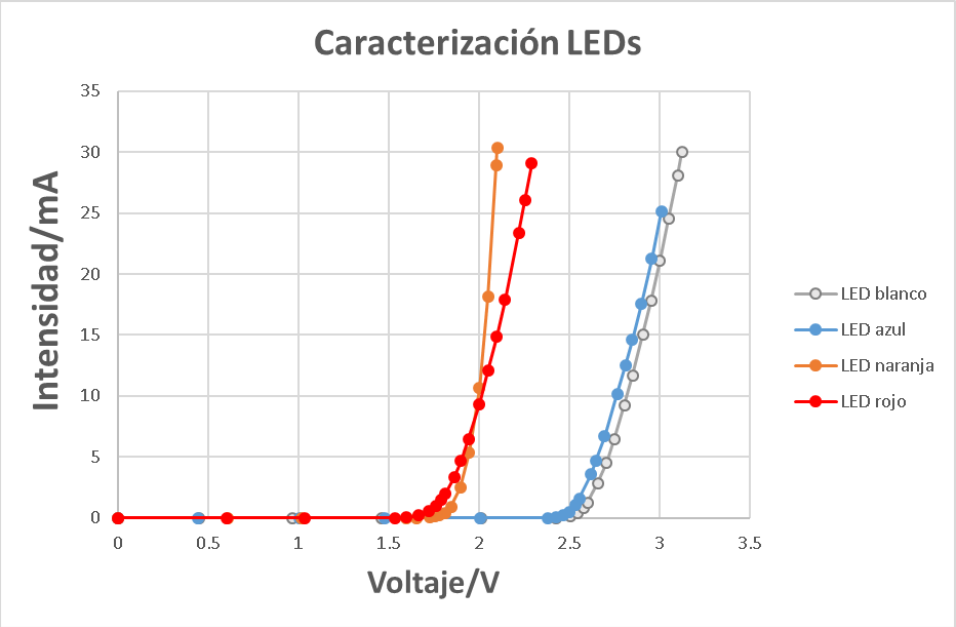


Figura 4.11: Curvas características de los cinco LEDs juntos. Fuente: elaboración propia.

Observando en una misma gráfica las curvas características de los cuatro diodos, puede discernirse la diferencia que existe en el voltaje umbral y la forma de la curva característica según el color. Se ha conseguido demostrar de manera evidente y muy visual que estas dos propiedades dependerán de los materiales con los que se haya manufacturado cada LED. En el caso del LED blanco, su voltaje umbral es muy parecido al azul debido a que, en realidad, emite luz violeta, pero está recubierto de una sustancia que re-emite en rojo y verde; de la combinación de estos tres colores se obtiene la luz blanca.

Adicionalmente, el uso del amperímetro y el voltímetro permite trabajar los conceptos de circuitos en serie y en paralelo, al tener que conectarlos con la disposición descrita anteriormente; es relevante trabajar estas nociones desde edades tempranas para facilitar su asimilación, lo cual resultará beneficioso, sobretodo si los discentes desean seguir estudiando una Carrera Universitaria o Grado de Formación Profesional que posea relación con la electricidad.

Como ha podido apreciarse, este experimento no posee importantes inconvenientes técnicos a la hora de su realización; consiste en el montaje del circuito y la toma de valores. Sin embargo, presenta dos dificultades principales a la hora de ejecutarse presencialmente en el aula. La primera está relacionada con la capacidad económica, ya que sería necesario que el centro de enseñanza estuviera dotado de material suficiente para todos los escolares, y las fuentes de alimentación no se ofrecen a un precio asequible para esos niveles. La segunda está asociada con los riesgos del trabajo con electricidad,

ya que los LEDs y los fusibles de los multímetros pueden estropearse muy fácilmente si no se monta el circuito de forma adecuada, o se aplica un exceso de corriente. La ventaja fundamental que ofrece esta experiencia es la capacidad de familiarizar a los alumnos con los instrumentos de medida fundamentales de un laboratorio de electricidad, sin poner en riesgo la integridad de los aparatos. Adicionalmente, es necesario familiarizar a los alumnos con las normas de seguridad en un laboratorio de electricidad, destacando el no tocar los enchufes y no conectar nada en ellos.

Para finalizar, esta práctica puede llevarse a cabo para caracterizar casi cualquier material de un circuito eléctrico. Se han elegido LEDs porque el experimento es mucho más visual, ya que puede observarse directamente el instante en el que se supera el voltaje umbral y comienza a emitirse luz, pero podría realizarse con otros componentes, como resistencias de diversos tipos.

2 Comprobación de la ley de enfriamiento de Newton

2.1 Fundamento teórico y contextualización

El siguiente experimento corresponde al área de termodinámica. Se pretende comprobar la ley validez de la ley de enfriamiento de Newton. Para ello, se calentará agua en un recipiente hasta llegar al punto en el que empiece a ebullir, y se medirá su temperatura durante un intervalo regular de tiempo. Si la ley se cumple, al representar el logaritmo de la diferencia entre la temperatura del agua y la temperatura ambiente frente al tiempo, debería obtenerse teóricamente una línea recta. Sin embargo, como se va a tomar como cuerpo a estudiar agua contenida en un recipiente, sufrirá un cambio de estado, evaporándose parte de ella, por lo que la masa inicial y final del líquido no será constante. A partir de la diferencia de la temperatura inicial medida y la temperatura inicial obtenida a través del ajuste de la gráfica se puede calcular la masa de agua evaporada, teniendo en cuenta que la energía perdida en forma de calor se ha invertido en evaporar el agua. Las ecuaciones a utilizar, que pueden encontrarse en Sears, Zemansky y Aguilar (1974) [30], serán:

$$Q = mc(T_2 - T_1), \tag{4.1}$$

$$Q = mL_v, \tag{4.2}$$

donde L_v corresponde al calor latente de vaporización del agua. El resto del fundamento teórico en el que se basa el experimento va a explicarse a continuación, y se ha extraído de Lienhard V y Lienhard IV (2024) [19].

Para un cuerpo incompresible en ausencia de cambios de fase, un proceso de transferencia de calor viene definido como:

$$Q = \frac{dU}{dt} = mc\frac{dT}{dt}, \tag{4.3}$$

donde Q es el calor transferido en el proceso, U la energía interna, t el tiempo transcurrido, m la masa del cuerpo, c el calor específico del cuerpo incompresible y T la temperatura del cuerpo.

En 1701, Newton consideró que, en un proceso de enfriamiento, se cumpliría que:

$$-\frac{dT}{dt} \propto T - T_\infty, \tag{4.4}$$

donde T_∞ es la temperatura del fluido con el que entra en contacto el cuerpo, en este caso, la temperatura ambiente. Llegamos entonces a que:

$$q = \bar{h}(T - T_\infty), \tag{4.5}$$

donde q es el flujo de calor Q/A, siendo A el área de contacto del fluido con la superficie a enfriar, y $\bar{h}$ es una constante de proporcionalidad llamada coeficiente de transmisión superficial. En resumen, el flujo de calor será directamente proporcional a la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la temperatura del fluido en contacto con él; si este se deja enfriar al aire libre, corresponderá a la temperatura ambiente. A esta expresión se la conoce como ley de enfriamiento de Newton.

Si el cuerpo posee una temperatura interna casi uniforme, como en el caso de una masa de agua en un recipiente, es posible transformar la ecuación (4.3), utilizando la ley de enfriamiento de Newton (4.5), en:

$$-\bar{h}A(T - T_\infty) = \frac{d}{dt}[\rho c V (T - T_{ref})], \tag{4.6}$$

donde ρ es la densidad del cuerpo, V su volumen y T_{ref} la temperatura arbitraria a la que se toma U como 0. Ya que la derivada de una constante es 0, puede cambiarse T_{ref} por T_∞ dentro de la derivada sin invalidar la ecuación, e integrando se llega a:

$$ln(T - T_\infty) = -\frac{t}{\tau} + ln(T_0 - T_\infty), \tag{4.7}$$

tomando como temperatura inicial T_0, y donde el valor de la constante τ corresponde a $(\rho c V/\bar{h}A)$. Operando, se llega a:

$$\frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = e^{-t/\tau}. \tag{4.8}$$

Esta ecuación, junto a su versión linearizada (4.7), serán las que se utilizarán en el experimento. Si bien la ecuación (4.7) debería dar lugar a una gráfica lineal, se observará que se obtiene una línea curva, debido al cambio de estado producido. Este problema fue planteado en la Fase Local de Valladolid de la Olimpiada de Física de 2023.

Esta práctica parece adecuada para la asignatura de Física y Química del curso 1° Bachillerato, englobada en el bloque F, "Energía", en el apartado "Variables termodinámicas de un sistema en función de las condiciones: determinación de las variaciones de temperatura que experimenta y las transferencias de energía que se producen

con su entorno", que aparece estipulado en el Decreto 40/2022 de la Comunidad de Castilla y León [13]. La experiencia permite profundizar en los conceptos relacionados con la transferencia de energía y la pérdida de calor que se produce en cualquier proceso termodinámico, además de familiarizar a los alumnos con las ecuaciones de tipo exponencial decreciente. Puesto que la deducción formal de las fórmulas requiere de un mayor dominio matemático del que se imparte en este curso, sería conveniente proporcionar directamente la ecuación (4.8), y que los propios estudiantes sean capaces de analizarla y linealizarla.

2.2 Montaje de la práctica

Esta práctica puede realizarse cómodamente en una mesilla pequeña, ya que los elementos necesarios no ocupan demasiado espacio físico. Los materiales de laboratorio a utilizar son:

- Recipiente para contener el agua, que pueda introducirse en un microondas. En este caso está graduado, pero no es necesario, ya que la escala no se utiliza.
- Cronómetro. Permite medir el tiempo transcurrido durante la experiencia. Puesto que debe verse su lector correctamente al colocar la cámara, ha sido necesario apoyarlo en una superficie para que se capture mejor y evitar posibles reflejos.
- Balanza electrónica. Permite medir la masa de agua inicial y final, para obtener el valor real de la masa evaporada. Es conveniente encenderla unos 30 minutos antes de comenzar para que se estabilice.
- Termómetro termopar. Se utiliza para medir la temperatura del agua a lo largo del experimento. Cuenta con un soporte acoplado para mantenerlo inclinado con comodidad, por lo que la pantalla se captura de forma idónea. Es necesario activar el modo que permite que se mantenga encendido más de 30 minutos, para evitar que se apague durante la toma de medidas. No es estrictamente necesario que sea un termómetro termopar; puede utilizarse cualquier tipo, siempre que sea sumergible en agua, incluso uno de mercurio, teniendo cuidado de enfocar bien la cámara para permitir la lectura de sus valores.

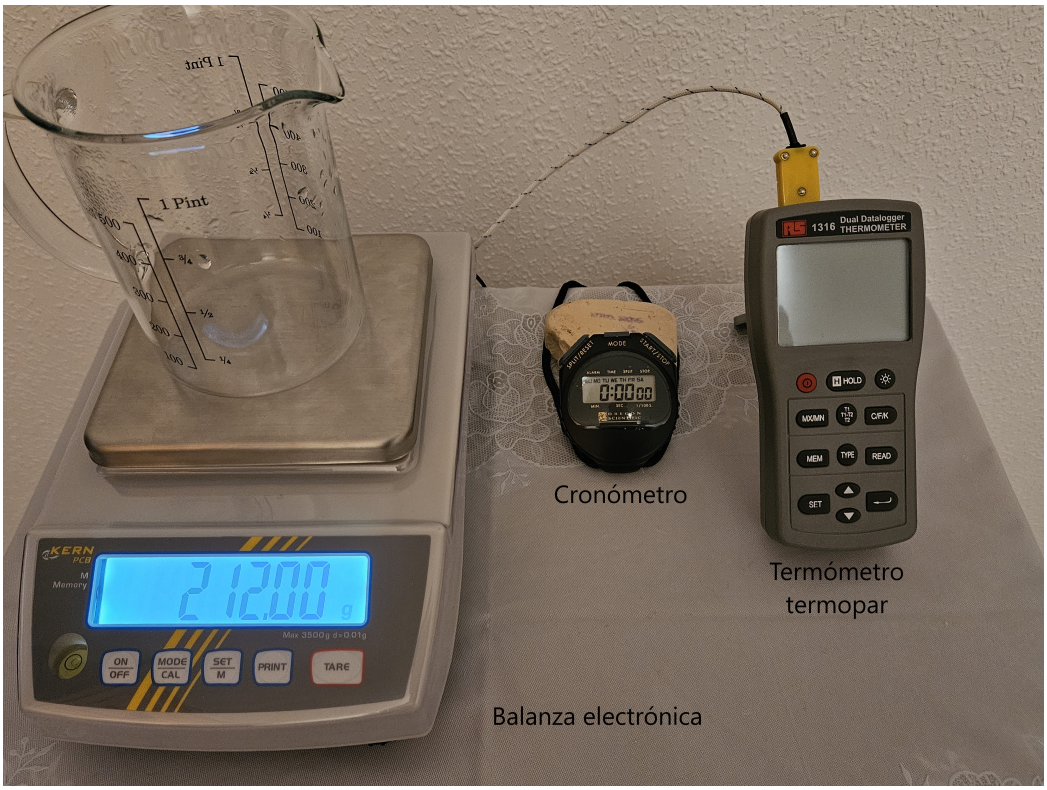


Figura 4.12: Materiales utilizados en la práctica. Fuente: elaboración propia.

Se comenzará preparando el cronómetro, la balanza y el termopar en la superficie en la que vaya a realizarse el experimento. Debe además apuntarse la temperatura ambiente inicial midiéndola con el termómetro, y la masa del recipiente vacío. Para evitar variaciones bruscas de temperatura, la sala donde vaya a efectuarse la grabación debe estar iluminada únicamente con una fuente de luz artificial, y no debe haber personas en ella.

En cuanto al montaje fotográfico, se volverá a colocar el móvil en el trípode. En este caso, puesto que la toma de medidas va a llevar unas dos horas, se optará por realizar una toma de fotos automáticas cada 30 segundos aproximadamente. Para ello, se ha utilizado una aplicación gratuita de Google Play llamada "Selfer", cuyo enlace aparecerá referenciado en la bibliografía [2]. Algunos móviles disponen de la posibilidad de realizar ráfagas de fotos separadas un cierto tiempo, por lo que puede llegar a no ser necesario emplear una aplicación.

Figura 4.13: Disposición de la cámara fotográfica para la grabación de la experiencia de termodinámica. Fuente: elaboración propia.

Se llenará la mitad o más del recipiente con agua. Se calentará en el microondas hasta que empiece a ebullir. Rápidamente, se coloca encima de la balanza, se coloca la sonda del termopar sumergida en el agua, procurando que no toque las paredes del recipiente (puede utilizarse una pinza de la ropa para sujetar el cable) y se pone en marcha el cronómetro y las ráfagas de fotos. A continuación, se abandona la habitación, dejando la puerta cerrada durante unas dos horas para evitar variaciones bruscas de temperatura.

Se habrá obtenido una foto cada 30 segundos aproximadamente; el intervalo entre cada una de ellas puede afinarse mediante la lectura del cronómetro. Se montará una grabación con todas estas fotos, de forma que cada captura se muestre durante un segundo. El alumno deberá extraer del vídeo los valores de la temperatura y el tiempo y generar una gráfica de la ecuación (4.7), que permita obtener una estimación de la temperatura inicial teórica. A partir de la diferencia entre esta y la temperatura inicial real, con las ecuaciones (4.1) y (4.2) podrá obtenerse la masa de agua evaporada, que podrá compararse utilizando las masas inicial y final de agua obtenidas en el primer y último fotograma de la grabación, respectivamente. En cada foto podrá también observarse la lectura de la masa instantánea de agua mediante la balanza electrónica, aunque solo serán relevantes las lecturas del primer y último fotograma, con las que se obtendrá la masa real de agua evaporada.

2.3 Resultados obtenidos y discusiones

Únicamente es necesario grabar un vídeo para esta práctica, al que puede accederse desde el siguiente enlace:

https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EbfmhRm8Va9AqK2F0V5VoJ8BpUnDRgoIZ-vKhDgfloL_5w?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=PMS3we

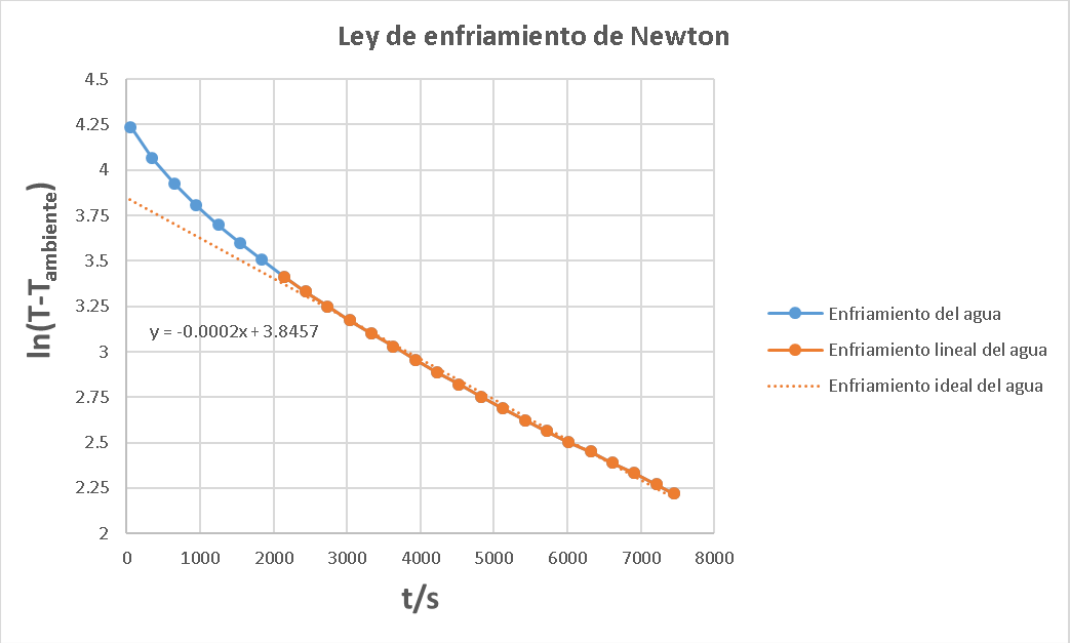


Figura 4.14: Curva de enfriamiento de un recipiente con agua. Fuente: elaboración propia.

Analizando esta gráfica, puede observarse de forma visual como la ley de enfriamiento de Newton solo se cumple a partir de cierto tiempo. Como ya se ha mencionado, esto es debido a la masa de agua evaporada, que puede calcularse fácilmente utilizando las ecuaciones (4.1) y (4.2). Solo con esta representación pueden mostrarse las limitaciones que poseen las aproximaciones utilizadas para las leyes físicas y cómo, para su correcta aplicación en el mundo real, es necesario tener en cuenta condiciones adicionales.

La masa de agua evaporada real se obtendrá mediante la diferencia de las masas del último y el primer fotograma indicadas por la balanza electrónica. En cuanto a la masa calculada, se evalúa a través de una serie de operaciones encadenadas. La ordenada en el origen de la recta indica el valor inicial de la expresión $\ln(T - T_\infty)$, es decir, $\ln(T_0 - T_\infty)$. Como la temperatura ambiente es conocida, T_∞, se puede obtener la temperatura inicial teórica, T_0. Aplicando la ecuación (4.1), se obtiene el

calor intercambiado en el proceso de variación de la temperatura del agua entre su temperatura inicial teórica y real. A partir de este calor y con el calor latente de vaporización del agua, se calcula la masa de agua evaporada mediante (4.2).

Δm real/g	15.52	Δm calculada/g	16.43
$\lvert\Delta m_r - \Delta m_c\rvert/g$	0.91	Error relativo Δm	5.83 %

Table 4.1: Comparación entre la masa medida con la balanza y la calculada con el ajuste. Fuente: elaboración propia.

A su vez, se observa una diferencia de aproximadamente el 6 % entre la masa evaporada observada con la balanza electrónica y la calculada a través de la gráfica. Esto es debido a que no se pueden tener en cuenta ciertos efectos externos al experimentador. En primer lugar, no es posible mantener la temperatura ambiente de la habitación completamente constante ya que, a lo largo de dos horas, en un entorno iluminado únicamente por luz artificial la temperatura tenderá a disminuir de forma paulatina con el tiempo. Además, el gradiente de temperatura que presenta el agua entre el fondo del recipiente y su superficie provoca pequeñas corrientes que no están contempladas por la ecuación. A pesar de que estos efectos no serían despreciables a nivel industrial, para un nivel de Bachillerato la experiencia sigue cumpliendo su función didáctica, ya que los dos valores obtenidos son comparables.

Esta práctica podría plantearse entonces con dos niveles de dificultad: por una parte, plantear la práctica completa; por otro lado, una experiencia más sencilla, en la que solo se muestre el enfriamiento a partir de los 50°, omitiendo el intervalo de tiempo donde ocurre el cambio de estado. Esto permitiría que la ley se cumpliera, simplificando el experimento para cursos inferiores.

A nivel técnico, esta práctica no presenta demasiados inconvenientes. Sin embargo, las necesidades de tener que llevarla a cabo a lo largo de una duración tan extendida (unas dos horas) y que realizarla en una habitación vacía para evitar la influencia de la propia temperatura corporal en las medidas provocan que sea inviable en un laboratorio de Secundaria y Bachillerato. Filmar la experiencia parece la mejor solución aunque, a la hora de realizar las fotografías, hay que ser cuidadoso con la iluminación; de otra forma, la lectura de algunos de los valores puede verse comprometida.

En resumen, este experimento permite a los discentes practicar y observar conceptos relacionados con termodinámica, a la vez que se les hace reflexionar sobre las limitaciones de las leyes físicas y cómo existen factores que pueden requerir de un estudio más minucioso. Gracias a esto puede trabajarse la Competencia Emprendedora, permitiéndoles comprender las dificultades de los procesos en la industria y deliberar acerca de la necesidad de una investigación continua en la búsqueda de posibles soluciones para estas incógnitas.

3 Obtención de la focal de una lente convergente

3.1 Fundamento teórico y contextualización

El experimento que va a describirse a continuación corresponde al área de Óptica. Los principios teóricos que lo apoyan pueden encontrarse en Casas (1985) [10].

El foco imagen de una lente es el punto donde convergen los rayos que provienen del infinito, en sentido de izquierda a derecha. A su vez, el foco objeto es el punto donde convergen los rayos provenientes del infinito, en sentido de derecha a izquierda.

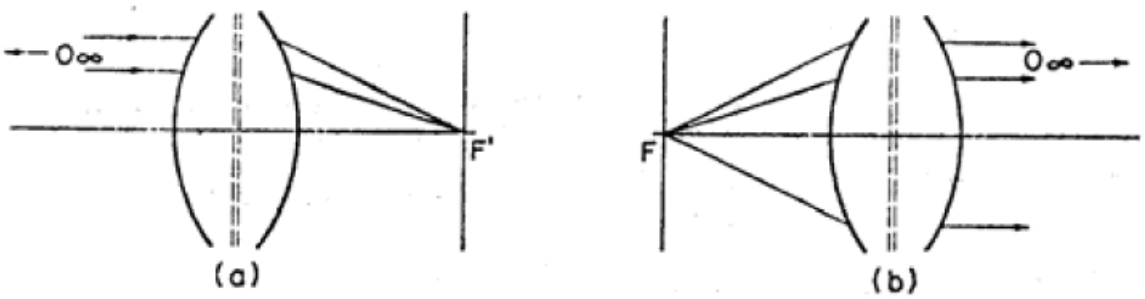


Figura 4.15: Definición del foco imagen (a) y del foco objeto (b). Fuente: Casas (1985) [10].

En esta práctica se va a suponer que la lente convergente con la que trabajamos es una lente delgada, es decir, su espesor es despreciable frente a cada uno de sus radios de curvaturas. Tomando como criterio que las distancias medidas son positivas en el sentido de la luz incidente, de izquierda a derecha, tenemos que:

1. El foco objeto de la lente, f, es negativo.
2. El foco imagen de la lente, f', es positivo.
3. La distancia de la lente al objeto, s, es negativa.
4. La distancia de la lente a la imagen, s', es negativa.

Además, como la lente se encuentra inmersa en aire, resulta que el índice de refracción es el mismo delante y detrás de la lente, por lo que resulta que:

$$f = -f', \tag{4.9}$$

y adicionalmente, puede calcularse el foco imagen a partir de las distancias a y a':

$$-\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f'}, \tag{4.10}$$

que es la fórmula que se aplica de forma habitual a lentes delgadas.

El aumento lateral de una lente está definido como:

$$\beta' = \frac{y'}{y}, \tag{4.11}$$

donde y es el tamaño del objeto en el eje Y e y' el tamaño de la imagen en el eje Y. En un sistema con una única lente convergente, la imagen se invierte, por lo y e y' tendrán signos opuestos. Normalmente, se suele tomar $y > 0$ e $y' < 0$. Además, para medios inmersos en aire, se da lo siguiente:

$$\beta' = \frac{s'}{s}. \tag{4.12}$$

Un método alternativo de escribir estas ecuaciones se puede obtener utilizando como variable la distancia entre el objeto y la imagen, d, que con el criterio de signos seleccionado vendría definida como:

$$d = s' - s. \tag{4.13}$$

De esta manera, puede sustituirse la distancia a en todas las fórmulas, dejándolas en función de d y a', de gran utilidad si se conoce con exactitud el valor de d.

Por último, la potencia de un sistema se define como la recíproca de su focal. Designamos la potencia objeto como $\varphi = 1/f$, y la potencia imagen como $\varphi' = 1/f'$. Si medimos la focal en metros, la unidad de la potencia se conoce como dioptrías.

Este experimento sería adecuado para la asignatura de Física del curso 2° Bachillerato, enmarcado en el bloque C, "Vibraciones y ondas", en el apartado "Formación de imágenes en medios y objetos con distinto índice de refracción. Sistemas ópticos: dioptrio plano, lentes delgadas, espejos planos y curvos y sus aplicaciones. El ojo humano y defectos de la visión. Aplicaciones a instrumentos ópticos como la lupa, la cámara fotográfica, el microscopio, y el telescopio", que aparece estipulado en el Decreto 40/2022 de la Comunidad de Castilla y León [13]. En efecto, todas las fórmulas matemáticas especificadas anteriormente son las que se imparten formalmente en la explicación de las lentes delgadas de este nivel, por lo que la práctica se encuentra adecuadamente contextualizada, sin necesidad de simplificar el desarrollo teórico.

3.2 Montaje de la práctica

A nivel técnico, las prácticas de óptica son complicadas de realizar de forma correcta, ya que es indispensable disponer de la iluminación adecuada, tanto en el sistema óptico como proveniente de fuentes externas. Para conseguirlo, se ha tenido que llevar a cabo un montaje más complejo que los dos descritos en las experiencias anteriores, por lo que es necesario extenderse más en la explicación. A continuación va a describirse cómo se ha diseñado cada uno de los elementos pertenecientes al experimento.

Foco. Para poder controlar mejor el rayo de luz, se ha utilizado como suministro eléctrico una fuente de alimentación que permite modificar la corriente proporcionada al foco, lo que posibilita un mayor control de la intensidad luminosa. Para aumentar la focalización de la luz, se ha acoplado un cilindro de cartulina negra a su alrededor, que reduce la iluminación excesiva causada por la emisión multidireccional de la luz. Es conveniente el empleo de un foco LED, ya que una lámpara halógena produciría demasiado calor, pudiendo provocar la combustión del papel.

Objeto. Se ha empleado como objeto un cuadrado de 5 cm de lado, con cuatro cuadrados negros en sus esquinas de 1 cm de lado imitando una carta de ajuste. En su interior se encuentra un cuadrado de 2 cm de lado con una flecha negra en su centro, que permite comprobar cómo la imagen se encuentra invertida con respecto al objeto original. El diseño se encuentra incluido en el Anexo B.1. Este diseño se ha impreso en papel vegetal con una impresora láser, que permite que lo atraviese la luz sin causar una difuminación excesiva en su otra cara; originalmente se utilizó papel, pero se observó que la imagen no se apreciaba de forma nítida. El objeto se ha acoplado al foco mediante unas pestañas, de forma que se mantenga lo más centrado posible.

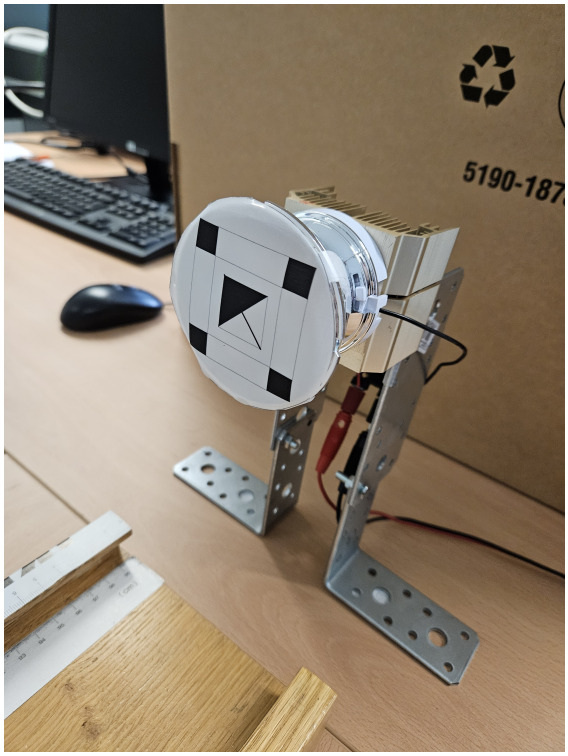


Figura 4.16: Objeto acoplado al foco. Fuente: elaboración propia.

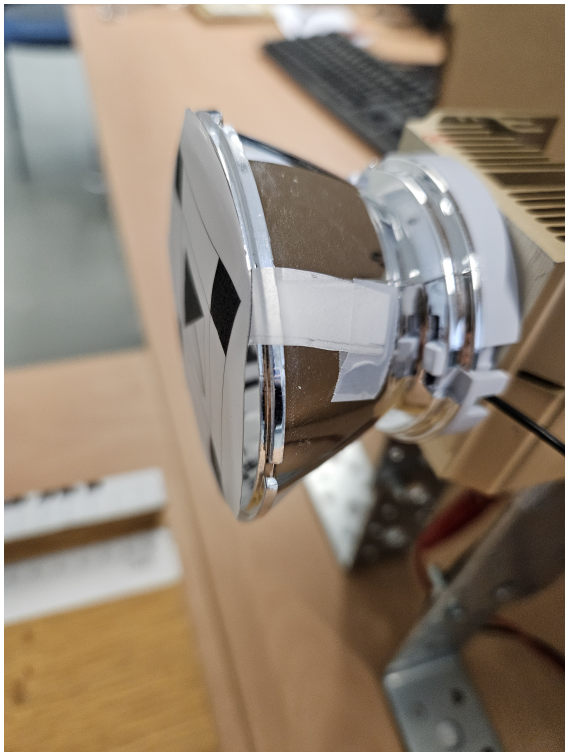


Figura 4.17: Detalle del acoplamiento del objeto al foco. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.18: Montaje completo del objeto y el foco con el cilindro de cartulina. Fuente: elaboración propia.

Lente. Como lente convergente se ha dispuesto una lupa usual. Para permitir una mayor focalización de los rayos de luz y evitar la aberración esférica, se ha pegado a un trozo de cartulina con un agujero circular, evitando los efectos indeseados y la sombra producidos por los bordes de la lente. Puesto que la lupa se trasladará a lo largo del banco óptico, para disminuir los efectos del paralaje su soporte tiene adherida una flecha blanca que permite identificar en qué punto de la escala graduada se encuentra.

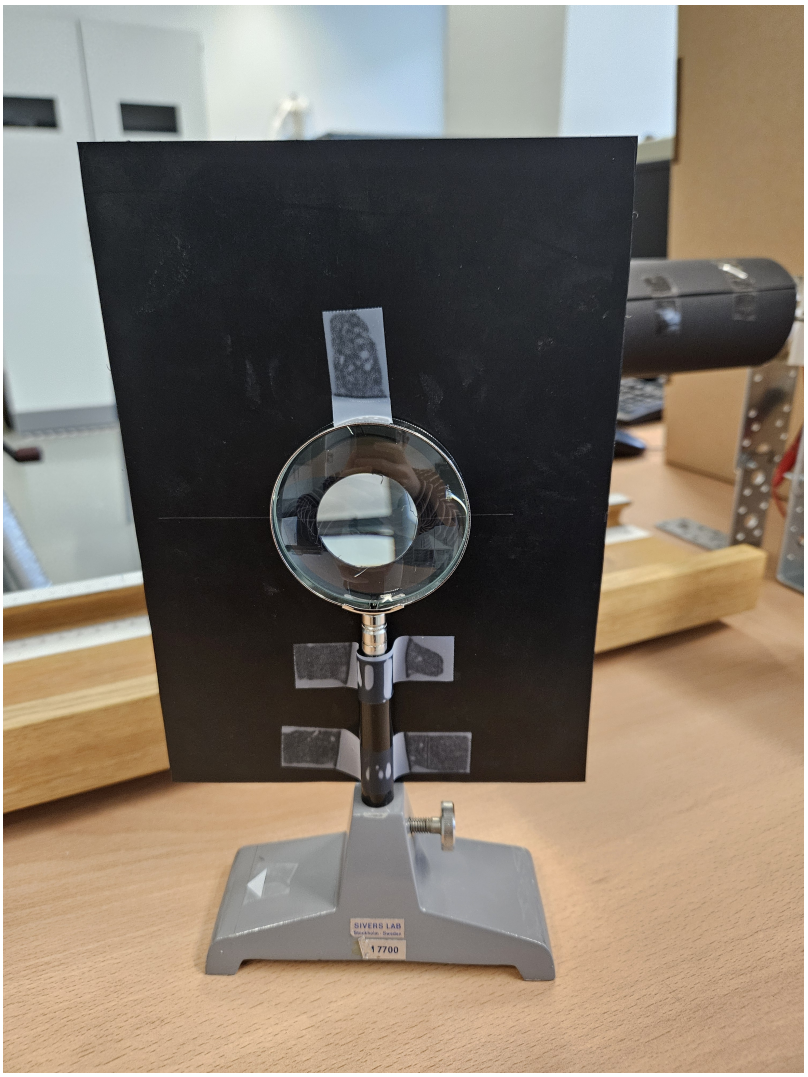


Figura 4.19: Detalle del acoplamiento de la cartulina negra a la lupa. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.20: La lupa observada desde el plano de la imagen. Fuente: elaboración propia.

Imagen. La imagen es proyectada en una pantalla graduada de papel vegetal, donde aparece un punto cada milímetro y una cruz cada centímetro. Con esta escala puede medirse el aumento de la imagen con respecto al objeto original. El diseño se encuentra incluido en el Anexo B.2. La pantalla está contenida en un marco, sujeta con un soporte metálico. Como el marco no ajustaba perfectamente, se ha utilizado un recorte de plástico negro para evitar su movimiento, ya que es importante que los elementos se mantengan estáticos.

Figura 4.21: La pantalla utilizada para proyectar las imágenes. Fuente: elaboración propia.

Banco óptico. El banco óptico consiste en un carril de madera con una regla graduada pegada a uno de sus extremos, de forma que se puedan identificar las distancias en la grabación. Fue necesario encerarlo con cera de una vela para facilitar el deslizamiento del soporte de la pantalla.

Adicionalmente, puesto que el sitio elegido para ejecutar el experimento poseía una ventana detrás del foco, se utilizó una caja que permitió reducir en gran medida la luz parásita, cuyo efecto en la nitidez de la imagen en la pantalla era notable.

Respecto al montaje fotográfico, se han empleado dos cámaras, con las que se graba el movimiento de la pantalla por el banco óptico y la aparición paulatina de la imagen en la pantalla. A la hora de montar el vídeo final, se habrán acoplado de forma que las dos grabaciones queden sincronizadas. Puesto que es necesaria una referencia acústica para la sincronización, es necesario que ambas grabaciones posean sonido. Aquí se

ha utilizado una cámara fotográfica con capacidad para filmar imagen y audio, pero podría emplearse un segundo teléfono móvil. Sin embargo, sea cual sea el aparato de grabación, es imprescindible que su foco pueda ponerse en modo manual para que pueda regularlo el experimentador, ya que el autofoco que viene activado por defecto podría dar problemas al registrar la imagen.

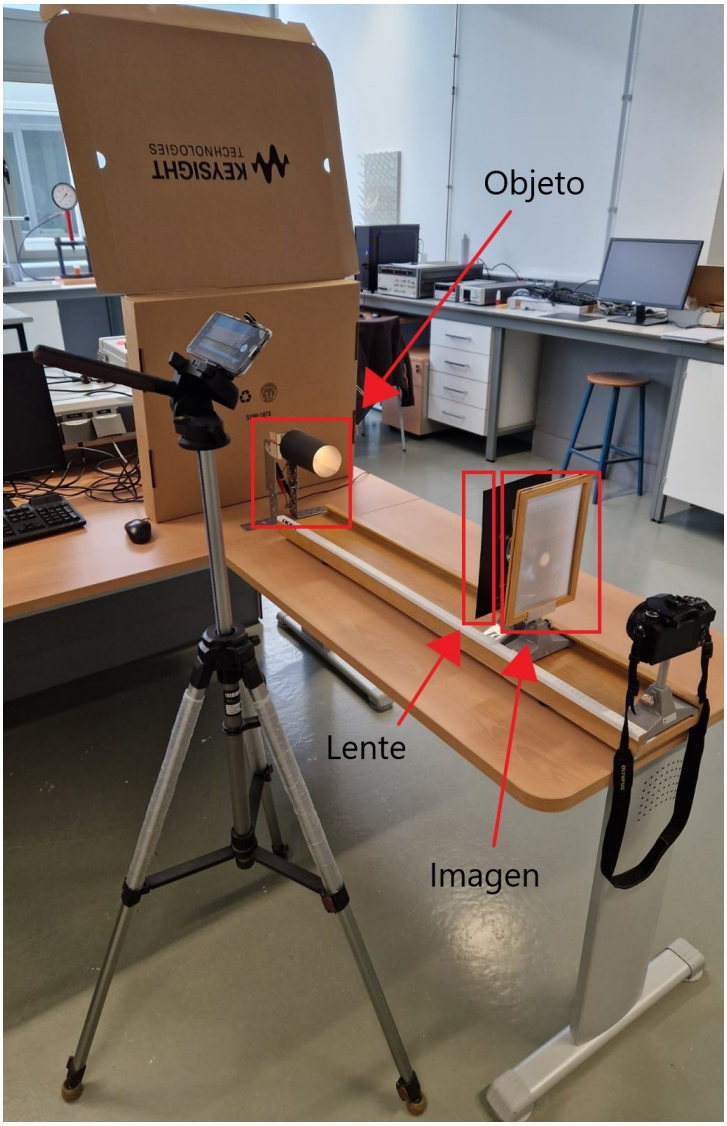


Figura 4.22: Montaje completo del banco óptico. Fuente: elaboración propia.

Una vez preparado todo, se procederá con el experimento. Seleccionando una distancia fija entre objeto e imagen, se irá desplazando la lente lentamente a lo largo del banco, de forma que se aprecie la formación de las imágenes en la pantalla. El estudiante podrá entonces apuntar, observando el vídeo, las dos distancias a las que se forma la imagen para cada separación objeto-imagen y, con ellas, obtener el valor de la focal de la lente. También podrá calcularla a partir del aumento lateral, medido a través de la cuadrícula de la pantalla imagen. Con el valor de la focal puede obtenerse también una estimación de la potencia de la lente.

3.3 Resultados obtenidos y discusiones

Se han preparado cinco vídeos, para distancias objeto-imagen tomadas cada 5 cm, de entre 75 y 55 cm.

- 75 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/ERC7tMGesa5MkfQxyKL5S0ABz_mFUvQo4_bpAgpT6TtX2w?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=b3ADJT

- 70 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EaeOiRYQOTZCsPBeVu4Nt9YBZFo-rhXi71d_-uM-nX8r5g?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=m3KuiG

- 65 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EZzCqIXICUxOvuFGL4L8O7YBX9thwWHGepIKg0354v_7FQ?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=JO5EFZ

- 60 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EWv_G9eLjdFPrfnPR6q52qABOXSW4WoylPn3FfQu403L1A?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=rVOsTS

- 55 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/ERlbhby4iNlHsuI25UR8jJwBKyuTGQVmCoRjRsWlyLfs3Q?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=9q8WDS

$\bar{f}'/cm$	13.222	$\varphi/dioptrias$	7.563

Table 4.2: Valores de la focal media de la lente y de su potencia calculados. Fuente: elaboración propia.

d/cm	$\bar{f}'/cm$	$\epsilon_{relativo}$
75	13.195	0.207 %
70	13.266	0.330 %
65	13.277	0.413 %
60	13.300	0.587 %
55	13.074	1.122 %

Table 4.3: Valores de la distancia entre el objeto y su imagen (d), la focal media de la lente para cada distancia $\bar{f}'$ y el error relativo comparado con la focal media total ($\epsilon_{relativo}$). Fuente: elaboración propia.

Es elemental observar cómo la dispersión entre los resultados obtenidos para cada distancia d es muy baja comparándolos con la media, ya que no poseemos un valor preciso de la focal de la lente para contrastar. El experimento por lo tanto funciona de manera correcta, y permite obtener la focal por dos métodos distintos: a través de la distancia lente-imagen a la que se forma imagen y mediante el aumento lateral de dicha imagen. Este segundo método no suele ser muy utilizado ya que, por lo general, no es plausible la medida del aumento, que aquí ha podido ejecutarse gracias a la escala graduada que se ha diseñado para la pantalla. Con ello, se consigue evidenciar a los estudiantes de cómo puede alcanzarse un mismo resultado a través de procedimientos diferentes.

A la hora de filmar, se ha optado por dejar fija la distancia objeto-imagen y modificar la posición de la lente. A primera vista, parecería plausible modificar la posición del objeto o la pantalla en lugar de la de la lupa, pero esto presenta un inconveniente técnico. Por una parte, el objeto se encuentra acoplado al foco para evitar tener que utilizar otro soporte adicional, y no es conveniente desplazar este último, ya que cambiaría la luminosidad que llega a la pantalla, a la vez que habría que tener cuidado con los cables que le suministran la corriente. Por otra parte, al empezar cada grabación, la imagen está enfocada en la cámara fotográfica, y desplazarla implicaría tener que optar por un enfoque automático, el cual no es del todo preciso y presenta un retardo que estropearía las medidas. En caso de querer desplazar la pantalla, sería mejor opción preparar un soporte que permita mantener la distancia pantalla-cámara fija, permitiendo que la cámara se mueva de manera solidaria con la imagen. Todo esto en su conjunto propicia que el sistema más adecuado consista en el movimiento de la lente.

Como ha podido advertirse a lo largo del desarrollo, la ejecución presencial de este experimento no es trivial; es necesaria una preparación técnica previa minuciosa, con unas condiciones de luminosidad apropiadas. Además, se requiere un espacio extenso para su realización, ya que el banco óptico se extiende a lo largo de un metro; plantearlo para un número elevado de alumnos implicaría una capacidad que no suele encontrarse en laboratorios de instituto.

Por todo esto, esta experiencia parece idónea para el curso 2º Bachillerato en el que, además, no suele ser viable la asistencia a laboratorios, debido al extenso temario y a la reducción de horas lectivas que le corresponden. La grabación facilitaría la adquisición de unos conocimientos que, por su propia naturaleza, son de carácter visual, y cuya explicación quedaría inconclusa al omitirse su demostración práctica.

Para terminar, puede complementarse la lección con una sencilla experiencia de cátedra que permita ilustrar el concepto de inversión de imagen. Para ello, solo es necesario un vaso de agua y dos flechas horizontales dibujadas en alguna clase de soporte, una encima de otra y con la punta en la misma dirección. Si se pone el soporte detrás de un vaso y se llena de agua hasta la mitad, se comprobará que una de las flechas ha quedado invertida y la otra no, debido a la refracción producida por el agua del interior del recipiente. Ya que es necesario situarse en una posición y ángulo concretos, el efecto se observa mejor mediante un vídeo:

https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EVMK8MxErcBNhxr_31I97VQBiE63MveT_66n24YyOPEhAA?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=BiJM0i

4 Obtención de la gravedad mediante un péndulo

4.1 Fundamento teórico y contextualización

El último experimento presentado corresponde al área de Mecánica Clásica. La base teórica para explicarlo ha sido extraída de Sears, Zemansky y Aguilar (1974) [30].

Un péndulo simple consiste en una masa de pequeñas dimensiones, suspendida de un hilo carente de peso e inextensible. Al desviarlo de su posición de equilibrio, la bola del péndulo se desplaza alrededor de esta con un movimiento oscilatorio y periódico.

La fuerza que influye en el movimiento oscilatorio del péndulo actúa en la dirección tangente a su movimiento, es decir, es su fuerza recuperadora. Se expresa como:

$$F = -mg\,\mathrm{sin}(\theta), \tag{4.14}$$

donde m es la masa de la bola, g el valor de la gravedad (aproximadamente 9.7998 m/s^2 a la altura de Madrid) y θ el ángulo al que se encuentra. En caso de que θ sea pequeño, $\mathrm{sin}(\theta) \approx \theta$, por lo que la fuerza recuperadora se transforma en:

$$F = -mg\theta. \tag{4.15}$$

Teniendo en cuenta que la elongación, x, es $x = L\theta$, siendo L la longitud de la cuerda, se llega a que:

$$F = -\frac{mg}{L}x, \tag{4.16}$$

que representa un movimiento armónico simple (MAS). Comparándolo con la condición necesaria para que se dé un MAS, $F = -kx$, se puede plantear la igualdad $k = mg/L$, por lo que el período, T, vendrá dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \tag{4.17}$$

Estudiando esta expresión, se hace patente que el período es independiente de la amplitud para ángulos pequeños.

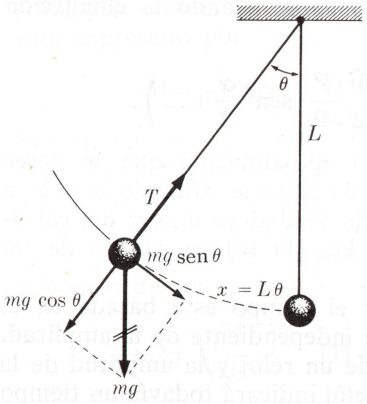


Figura 4.23: Diagrama del péndulo simple. Fuente: Sears, Zemansky y Aguilar (1974).

Este experimento puede plantearse para la asignatura de Física y Química del curso 1° Bachillerato, enmarcado en el bloque E, "Estática y dinámica", en los apartados "Las fuerzas como medida de la interacción entre dos cuerpos, su carácter vectorial. Identificación de las fuerzas normal, peso, rozamiento estático y dinámico y tensión", y "Relación de la mecánica vectorial aplicada sobre una partícula con su estado de reposo o de movimiento: aplicaciones estáticas o dinámicas de la física en otros campos, como la ingeniería o el deporte", que aparecen estipulados en el Decreto 40/2022 de la Comunidad de Castilla y León [13]. Las ecuaciones planteadas están adecuadas a este nivel, ya que no se realiza un análisis exhaustivo de la deducción formal de las fórmulas a partir de su ecuación diferencial o la comparación del seno de un ángulo con el ángulo para amplitudes pequeñas a partir de su desarrollo en serie de Taylor, que no se han incluido por no ser necesarios para el desarrollo.

4.2 Montaje de la práctica

La práctica se ha planteado con la finalidad de obtener la gravedad terrestre a partir del período de un péndulo mediante dos procedimientos de medida equivalentes: visual y auditivo. A pesar de la aparente simplicidad de construir un péndulo simple, en la realidad intervienen una considerable cantidad de factores que no se tienen en cuenta al plantear el problema de manera teórica. A continuación van a describirse todos los materiales utilizados y los inconvenientes y problemáticas que plantean.

- Pelota. Actuará como la masa del péndulo. Hay que tener en cuenta que, en el modelo ideal, el cuerpo es puntual con una distribución de masa homogénea, lo que se diferencia con cualquier tipo de masa esférica que podamos encontrar en la realidad (por lo menos, de manera asequible). La ventaja es que el peso de la bola permite tensionar al máximo la cuerda, evitando posibles efectos secundarios provocados por compresiones del hilo.
- Hilo de coser. Utilizado como cuerda. Es suficientemente resistente como para soportar el peso de la pelota, y con una masa adecuadamente baja para que no afecte a las oscilaciones.

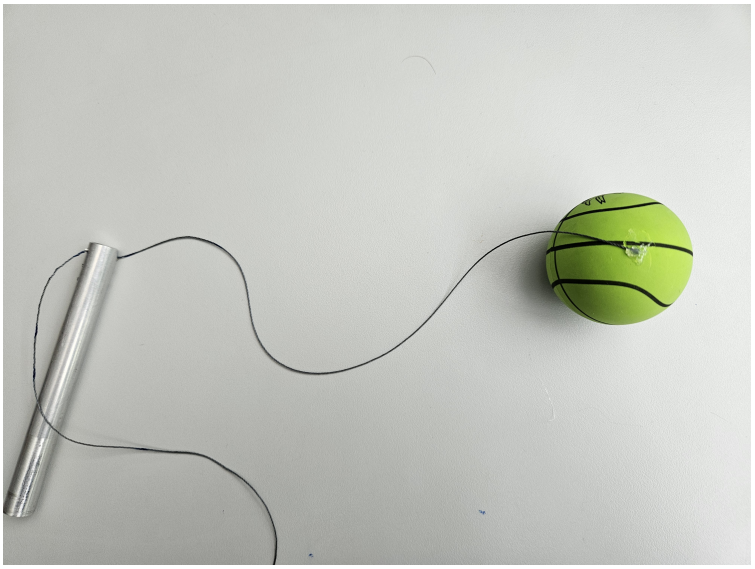


Figura 4.24: Detalle de la unión hilo-pelota. Fuente: elaboración propia.

- Barra de aluminio. Actúa como sujeción para el hilo del péndulo. Para ello, se han practicado agujeros con un taladro por donde se enhebra el hilo. Para mantener el extremo completamente estático, se ha utilizado un pin metálico que, al introducirlo en el orificio junto a la hebra, facilita su inmovilización. A su vez, la varilla se ha afianzado a un eje metálico vertical (atornillado a una base) mediante una nuez.

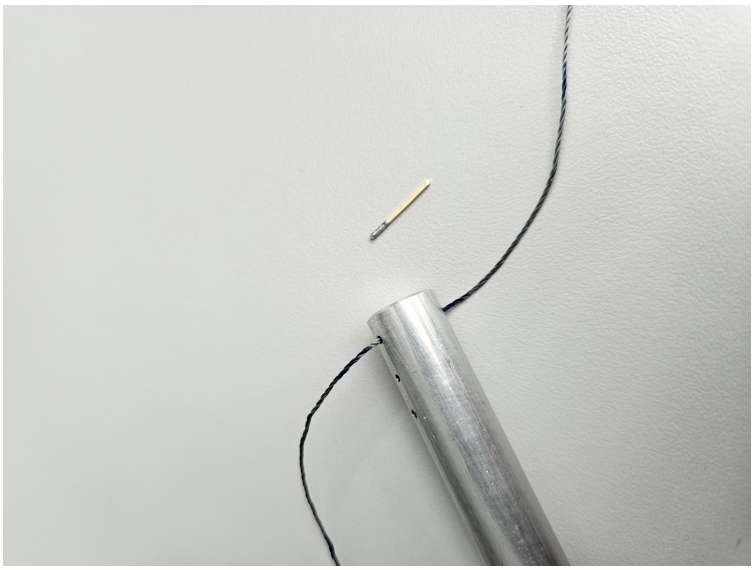


Figura 4.25: Detalle de la varilla de aluminio con los agujeros, con el pin a su derecha. Fuente: elaboración propia.

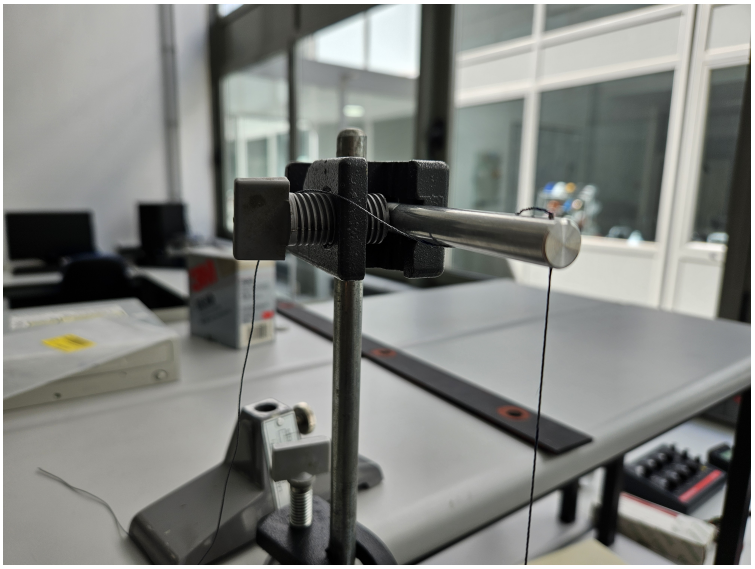


Figura 4.26: Detalle de la nuez de sujeción de la varilla. Fuente: elaboración propia.

- Micrófono. Utilizado para registrar audio (el proceso se especificará posteriormente). Presenta una conexión USB para poder acoplarlo a un teléfono móvil. Para que quede horizontal, se ha ideado un soporte con una canaleta pequeña de plástico, donde se asegura el cable del micrófono mediante cinta adhesiva. Al micrófono se ha adherido un trozo de papel de forma triangular, que recogerá las oscilaciones del péndulo.

Figura 4.27: Montaje del micrófono. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.28: Detalle del micrófono con el trozo de papel adherido. Fuente: elaboración propia.

- Panel de referencia. Elaborado mediante ordenador e impreso en una impresora láser, permite medir los ángulos en el vídeo. Se ha acoplado al eje vertical mediante una pieza metálica unida con cinta adhesiva en su sección posterior. El diseño puede observarse con más detalle en el Anexo B.3.

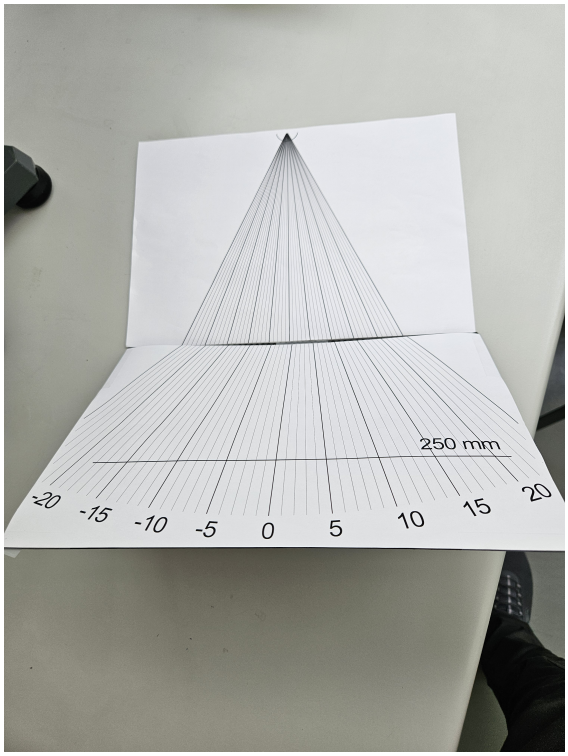


Figura 4.29: Panel de referencia. La sección superior no se utiliza. Fuente: elaboración propia.

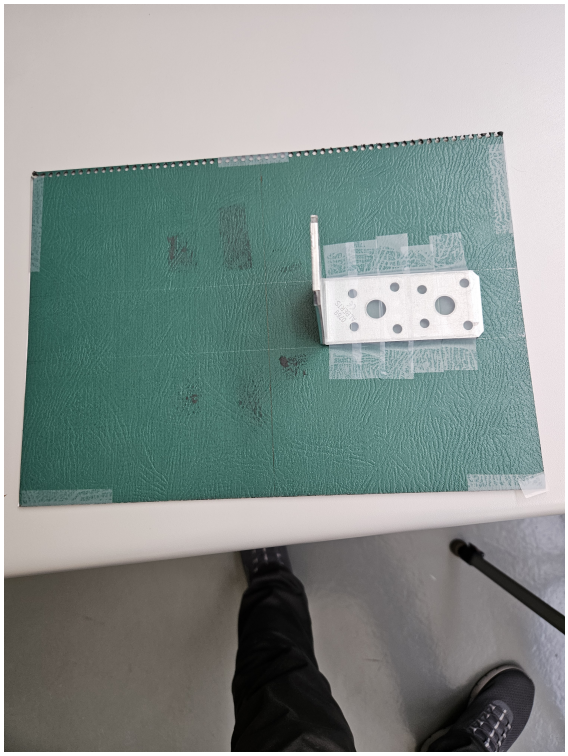


Figura 4.30: Detalle del reverso del panel de referencia. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la grabación, se ha filmado con un teléfono móvil con el micrófono conectado. Para conectar este al teléfono, han sido necesarios un cable USB OTG y una tarjeta de sonido USB.

Figura 4.31: Tarjeta de sonido USB (iquierda) y cable USB OTG (derecha). Fuente: elaboración propia.

El vídeo se ha grabado a 25 FPS (el móvil indica 30 fps, pero se ha comprobado que ese valor no es verídico), y muestra las oscilaciones del péndulo frente al panel de referencia, de forma que puede revisarse el ángulo en el que se encuentra en cada fotograma. El audio se ha capturado colocando la punta del papel triangular adosado en el micrófono en el camino del hilo, por encima de la pelota, de forma que lo golpee en cada semiperíodo de oscilación. Esto presenta un inconveniente no trivial: dependiendo de la posición del papel, puede darse el caso de que, para ángulos de oscilación pequeños, el movimiento no presente la suficiente amplitud como para sobrepasar la capacidad elástica del papel, y acabe rebotando contra él, estropeando la medida. Debido a esto, ha sido necesario repetir las capturas varias veces (el tiempo medio de grabación total de cada vídeo, incluyendo todas las tomas no válidas, oscila entre los 30 y los 60 minutos).

Figura 4.32: Montaje completo del experimento. Fuente: elaboración propia.

La adquisición de los datos se llevará a cabo mediante dos softwares distintos, ambos gratuitos y de código abierto. El vídeo se analizará mediante el uso de Tracker [7]. Esta aplicación permite cargar un vídeo y analizar trayectorias de cuerpos que aparezcan, fotograma a fotograma. Como en este caso contamos con un panel de referencia para los ángulos, no es necesario utilizar esta funcionalidad, pero si permitirá controlar el tiempo entre fotogramas específicos de manera muy precisa. Para verificar que los tiempos arrojados por el programa son correctos, se realizó una grabación de un cronómetro con el mismo teléfono móvil en las mismas condiciones, y se contrastó que los intervalos de tiempo coincidieran.

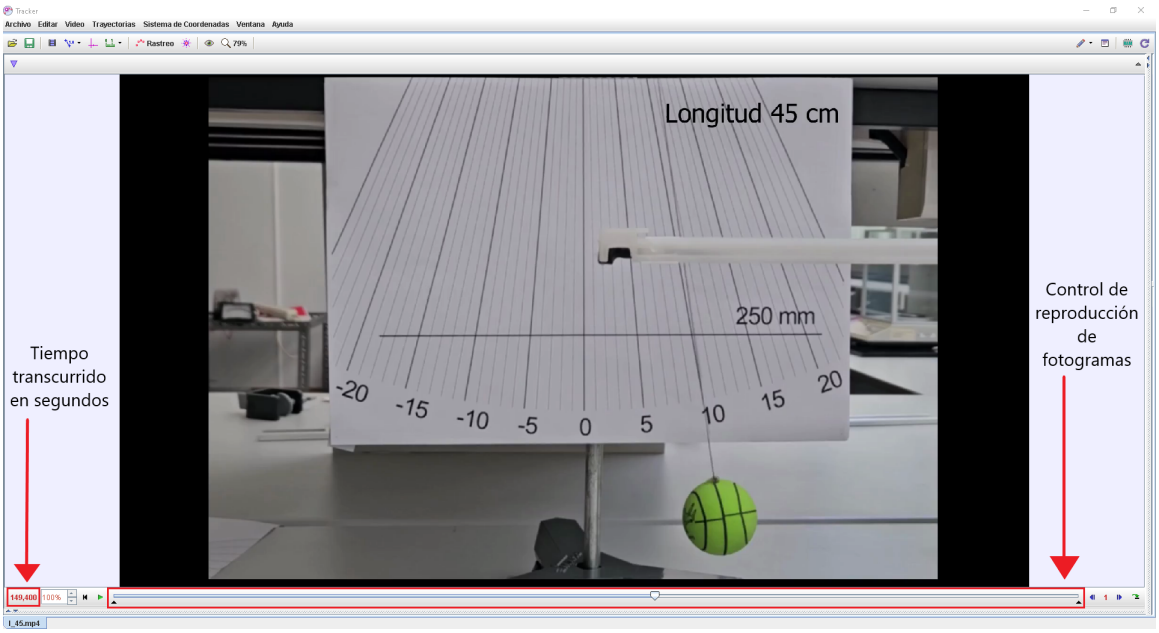


Figura 4.33: Captura de la aplicación de Tracker con anotaciones. Fuente: elaboración propia.

El audio se estudiará a través de Audacity [21]. Este software solo puede procesar pistas de sonido aisladas, por lo que se deberán extraer de los vídeos archivos .wav mediante KdenLive u otro software alternativo de edición. Puesto que en cada oscilación completa el hilo del péndulo golpeará dos veces la hoja de papel acoplada al micrófono, deberá analizarse el tiempo transcurrido entre tres ondas sonoras. Esto puede realizarse de forma sencilla tomando como referencia puntos parecidos entre las ondas (que, para cada ángulo, poseerán una forma parecida).

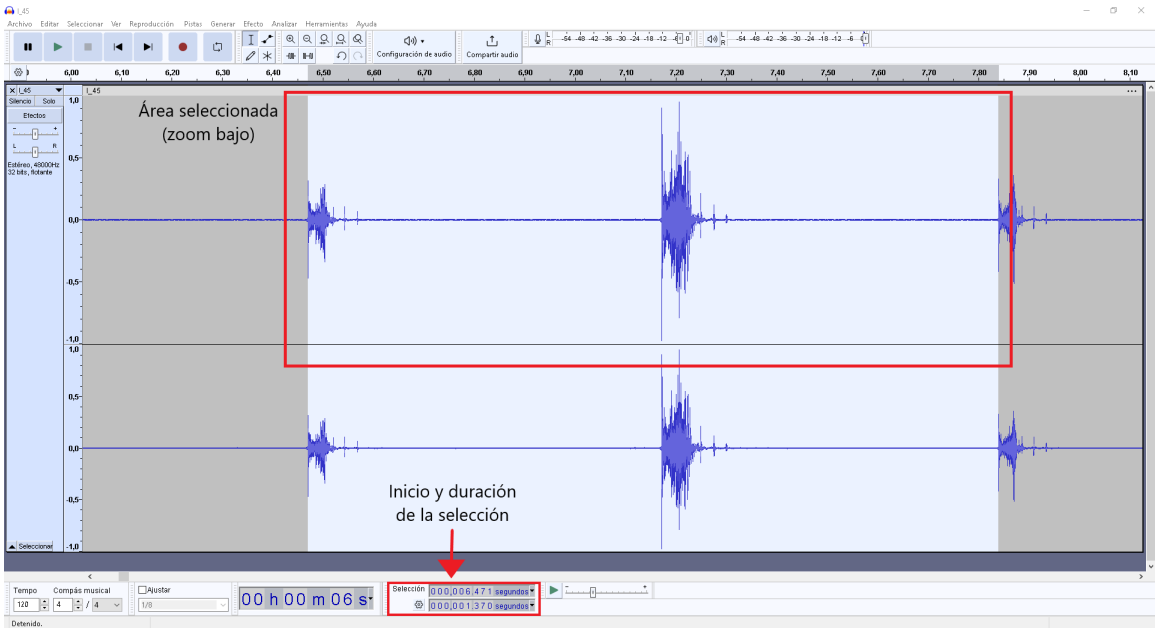


Figura 4.34: Captura de la aplicación de Audacity con anotaciones. Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos, puede calcularse la gravedad para cada amplitud representando la longitud del hilo frente al cuadrado de la media de los períodos, y realizando un ajuste lineal. Es conveniente utilizar gráficas diferentes para los valores provenientes de Tracker y de Audacity, para poder compararlos posteriormente.

4.3 Resultados obtenidos y discusiones

Se han preparado cinco vídeos, para longitudes del péndulo de entre 45 y 25 cm.

- 45 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_martining_estudiantes_uva_es/EYE51EFaEIRBo5uiW-Dr4PkBn0Kz7YrIdAqXzKmxdQfcRA?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=1cQToU

- 40 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_martining_estudiantes_uva_es/ESXi4KrXULVNkdy98Xy2g1sBnkwZe02BMCo9epGGc7aBgA?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=C4Y5Ol

- 35 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EcPgRM7SDndNn6dR80iMlKYB7llSXpIc7y1Jc6iTJzvqlw?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=9llar8

- 30 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EWsp6zKoTodNqJn_zemGkwkBbDs6dt6LSbNZ4NIAwTUipg?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=ZZVu5S

- 25 cm. https://uvaes-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/daniel_marting_estudiantes_uva_es/EXs_QvQl41NBkKoP3JoAElUBodCPlXL2Js-8Z22jwyoMGg?nav=eyJyZWZlcnJhbEluZm8iOnsicmVmZXJyYWxBcHAiOiJPbmVEcml2ZUZvckJ1c2luZXNzIiwicmVmZXJyYWxBcHBQbGF0Zm9ybSI6IldlYiIsInJlZmVycmFsTW9kZSI6InZpZXciLCJyZWZlcnJhbFZpZXciOiJNeUZpbGVzTGlua0NvcHkifX0&e=uL3iUd

Resultados con Tracker

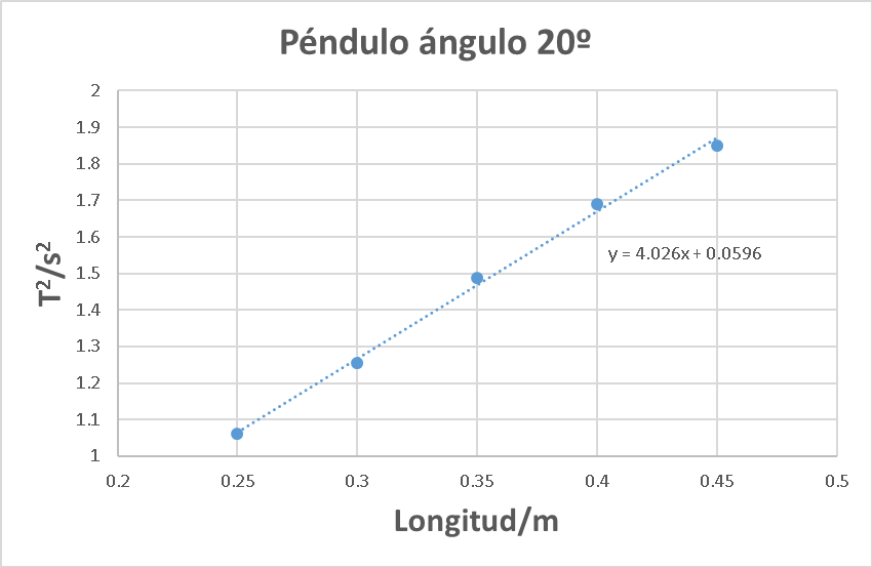


Figura 4.35: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 20° obtenido con Tracker. Fuente: elaboración propia.

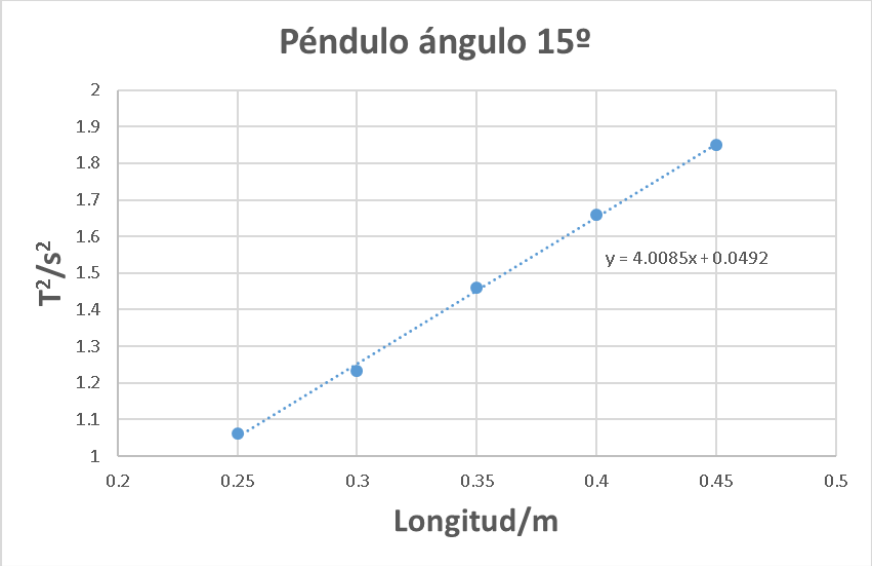


Figura 4.36: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 15° obtenido con Tracker. Fuente: elaboración propia.

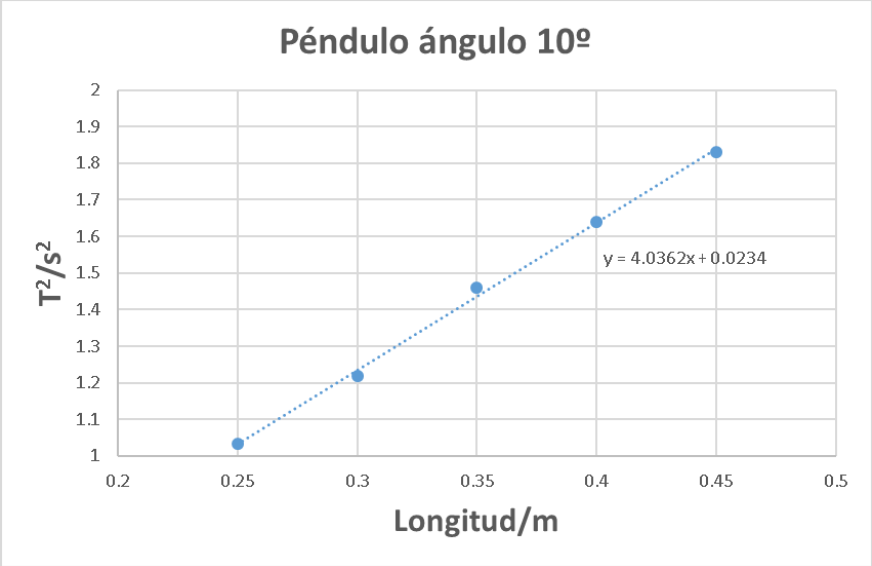


Figura 4.37: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 10° obtenido con Tracker. Fuente: elaboración propia.

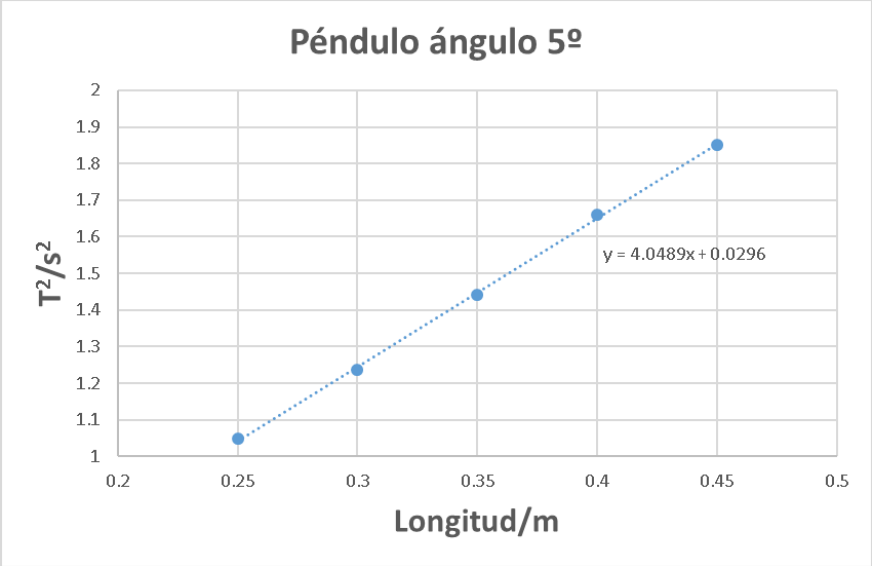


Figura 4.38: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 5° obtenido con Tracker. Fuente: elaboración propia.

Valor de la gravedad en Madrid	9.7998 m/s^2

Table 4.4: Valor real de la gravedad (g) en Madrid. Fuente: Sears, Zemansky y Aguilar (1974) [30].

Ángulo/°	$g/m/s^2$	$\epsilon_{relativo}$
20	9.8059	0.06 %
15	9.8487	0.50 %
10	9.7811	0.19 %
5	9.7504	0.50 %

Table 4.5: Valores de la gravedad (g) y el error relativo respecto al valor real ($\epsilon_{relativo}$) obtenidos para cada ángulo. Fuente: elaboración propia.

Resultados con Audacity

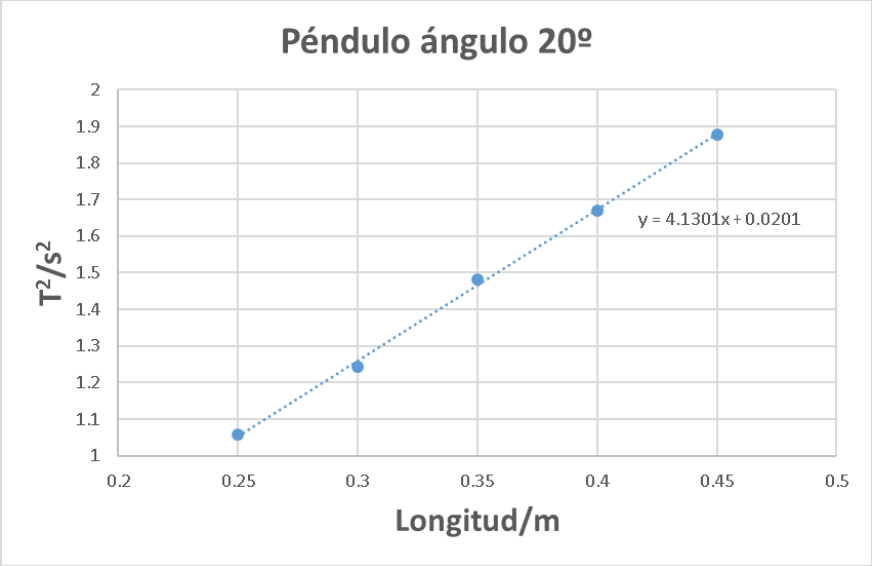


Figura 4.39: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 20° obtenido con Audacity. Fuente: elaboración propia.

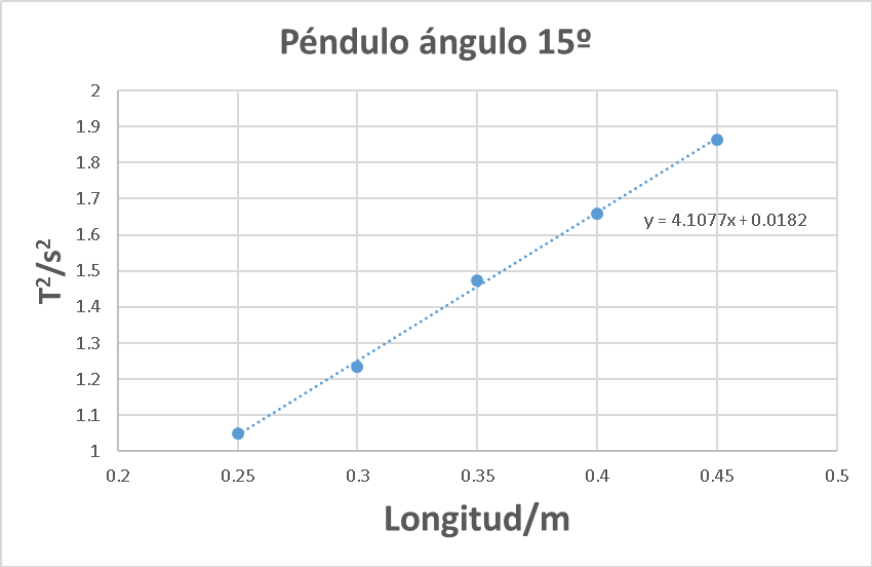


Figura 4.40: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 15° obtenido con Audacity. Fuente: elaboración propia.

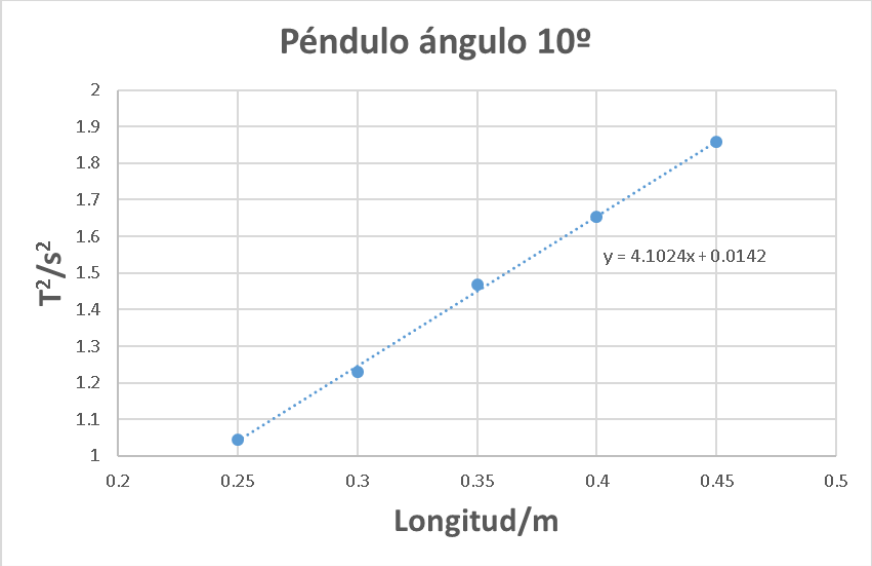


Figura 4.41: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 10° obtenido con Audacity. Fuente: elaboración propia.

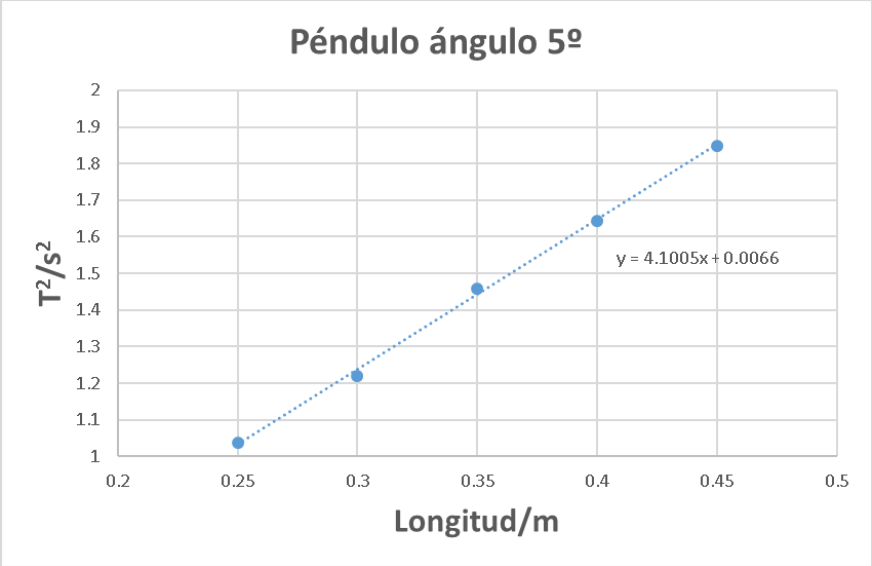


Figura 4.42: Representación gráfica de la longitud frente al período al cuadrado para 5° obtenido con Audacity. Fuente: elaboración propia.

Ángulo/°	$g/m/s^2$	$\epsilon_{relativo}$
20	9.5587	2.46 %
15	9.6108	1.93 %
10	9.6232	1.80 %
5	9.6277	1.76 %

Table 4.6: Valores de la gravedad (g) y el error relativo respecto al valor real ($\epsilon_{relativo}$) obtenidos para cada ángulo. Fuente: elaboración propia.

En estos resultados puede observarse un efecto imprevisto, y es que el error del valor de la gravedad con respecto al real obtenido en las medidas con Audacity es mayor que el calculado con Tracker; sin embargo, la precisión de Audacity al calcular los tiempos es mayor que en Tracker. Sin embargo, con Audacity, el valor de la gravedad se va volviendo más preciso a medida que va disminuyendo el ángulo de acción, a diferencia de con Tracker. De esto se deduce que los resultados realmente válidos son los hallados con Audacity, a pesar de presentar un mayor error repecto a los reales. Hay que tener en cuenta que existen varios parámetros difíciles de controlar en el experimento: la pelota del péndulo no es puntual y posee una distribución de masas no homogénea, lo cual afecta a su trayectoria; la densidad de la masa no es alta, lo que puede afectar al movimiento; existe una leve fuerza de rozamiento con el aire que no se tiene en cuenta, y en cada impacto del hilo con el papel del micrófono; el punto de conexión entre la esfera y el hilo no es exactamente una línea recta; y el movimiento del péndulo puede no encontrarse en un plano perfecto y presentar irregularidades. Este último efecto podría disminuirse sujetando la masa con un segundo hilo y cortándolo al para iniciar las oscilaciones y asegurar su permanencia en dicho plano, pero complicaba ya en exceso el montaje, sobretodo para mostrarlo en estos niveles.

Pueden encontrarse entonces dos técnicas complementarias en el empleo de estos programas. Por una parte, Tracker funciona mejor para obtener datos cualitativos ya que, a pesar del error que puedan tener las medidas, permite rastrear la posición de la pelota a lo largo de todo el metraje. En cambio, Audacity está más orientado al análisis de resultados cuantitativos, pero únicamente permite un análisis en los momentos en los que el hilo golpea la tira de papel. La combinación de ambos programas permite poner en contacto a los alumnos con diferentes softwares y sus limitaciones, trabajando la Competencia Digital a través de la presentación de dos programas informáticos que facilitan el análisis de resultados científicos. Las ventajas de familiarizar a los alumnos con estos programas superan con creces la poca precisión de los métodos. Hay que tener en cuenta además que el objetivo del experimento no es medir la gravedad con mucha exactitud, sino mostrar el funcionamiento de un péndulo, permitiendo estudiar los problemas surgidos en la aproximación realizada en (4.14), ya que el período aumenta al disminuir la amplitud, efecto no observable en (4.17).

Capítulo 5

Conclusiones

A lo largo de este trabajo, se ha diseñado una técnica que permite la elaboración de prácticas de laboratorio semipresenciales para la docencia de asignaturas de Ciencias. A su vez, se ha aplicado dicha técnica a cuatro experimentos que ilustran conceptos concretos de cuatro campos distintos de la Física dentro del currículum de Educación Secundaria y Bachillerato de Castilla y León. Gracias a esto se ha podido demostrar el funcionamiento del método, obteniendo así experiencias ya preparadas para su aplicación.

Todos los experimentos diseñados poseen una serie de factores en común. Uno de ellos es que están realizados con materiales económicos o reutilizados, lo que favorece la reducción de los residuos producidos y la huella ecológica. Además, muestran el procedimiento de manipulación de los instrumentos, y permiten el análisis y la extracción de resultados reales, a diferencia de otros métodos alternativos. Esto familiariza a los alumnos con el trabajo en un laboratorio presencial, con el beneficio que esto conllevará a aquellos que opten por cursar carreras o grados relacionados con esta actividad. El conjunto global de estas características facilita la docencia de estos contenidos en centros con factores económicos desfavorables, reduciendo la desigualdad que surge en distintas regiones por su contexto monetario.

A su vez, los vídeos grabados se han editado de forma que puedan extraerse con facilidad los datos necesarios. Se ha tratado que los montajes que aparecen en ellos sean claros y poco confusos, permitiendo así la identificación de todos los elementos e instrumental que interviene en el proceso de medición, así como la correcta utilización de los mismos.

A pesar de que los contenidos que transmiten los experimentos estén dirigidos a la Comunidad de Castilla y León, haciendo uso para ello de los Decretos 39/2022 [12] y 40/2022 [13], todo lo aquí estipulado puede generalizarse y adaptarse a otras Comunidades Autónomas. Para ello, puede hacerse uso de los Reales Decretos 217/2022 [25] y 243/2022 [26], que establecen las enseñanzas mínimas para Educación Secundaria y Bachillerato en todo el Reino de España, o de la legislación concreta de cada uno de

los territorios que lo integran.

Como se ha podido observar, no se ha incluido ninguna pauta acerca de la evaluación de las actividades. Se ha optado por dejarlo en manos de los docentes. La técnica permite suficiente flexibilidad como para ser adaptada por cada profesor particular según las peculiaridades y circunstancias de la clase y el curso al que esté impartiendo, y los conceptos que desee transmitir. Incluso puede optarse por realizar todo el proceso de grabación con los alumnos, lo que permitiría ampliar el abanico de competencias abarcadas.

Bibliografía

[1] Adams, W. K. (2010). Student engagement and learning with PhET interactive simulations. *Il nuovo cimento C, 33*(3), 21-32. https://www.doi.org/10.1393/ncc/i2010-10623-0

[2] Appsmotor AI (s.f.). *Selfer cámara con temporizador*. Recuperado el 04 de junio de 2024, de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.appsmotor.photoeverysecond&hl=es_419&pli=1.

[3] Babor, J.A., & Ibarz-Aznárez, J. (1979). *Química general moderna: una introducción a la química física y a la química descriptiva superior, inorgánica, orgánica y bioquímica* (8ª ed.). Marín S.A.

[4] Bates, G.R. (1978). The role of the laboratory in secondary school science programs. En M.B. Rowe (Ed.), *What research says to the science teacher* (Vol. 1, pp. 55-82). Washington D.C: National Science Teachers Association.

[5] Ben-Ouahi, M., Ait-Hou, M., Bliya, A., Hassouni, T., & Al-Ibrahmi, E. M. (2021). The effect of using computer simulation on students' performance in teaching and learning physics: are there any gender and area gaps?. *Education Research International, 2021*(1), Artículo 6646017. https://doi.org/10.1155/2021/6646017

[6] Ben-Zvi, R., Hofstein, A., Samuel, D., & Kempa, R. F. (1976). The effectiveness of filmed experiments in high school chemical education. *Journal of Chemical Education, 53*(8), 518-520. https://doi.org/10.1021/ed053p518

[7] Brown, D., Christian, W. & Hanson, R.M. (s.f.). *Tracker Video Analysis and Modeling Tool*. Recuperado el 06 de junio de 2024, de https://physlets.org/tracker/.

[8] Cabero-Almenara, J. (1995). Propuestas para la utilización del vídeo en los centros. En J. Ballesta-Pagán (Coord.), *Enseñar con los medios de comunicación* (pp. 89-121). Promociones y Publicaciones Universitarias.

[9] Cameán-Fernández, A.M., Jos-Gallego, A., Moreno-Navarro, I. M., Pichardo-Sánchez, S., Prieto-Ortega, A.I. & Repetto-Kuhn, G. (2005). Interés en la elaboración de vídeos didácticos como material de prácticas en la asignatura de Seguridad Química. *Revista de Enseñanza Universitaria, 26,* 45-54. http://hdl.handle.net/11441/55054

[10] Casas, J. (1985). *Óptica* (6ª ed.). Librería Pons S.L.

[11] Cezar, L., Velarde, J. J., & Palattao, S. (2024). *The Effectiveness of PhET Simulation in the Academic Performance and Engagement of Grade 10 Physics Students* [Journal Contribution, Iligan City National School of Fisheries]. figshare. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.25217531.v1

[12] DECRETO 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León, 190,* de 30 de septiembre de 2022. https://bocyl.jcyl.es/eli/es-cl/d/2022/09/29/39/.

[13] DECRETO 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León, 190,* de 30 de septiembre de 2022. https://bocyl.jcyl.es/eli/es-cl/d/2022/09/29/40/.

[14] Falstad (s.f.). *Math, Physics and Engineering Applets*. Recuperado el 27 de junio de 2024, de https://www.falstad.com/.

[15] García, C., Ribate, M. P., Culleré, L., Fernández, H., & Giner, B. (2020). Elaboración de vídeos educativos sobre operaciones básicas de laboratorio. *RIDAS. Revista Iberoamericana de Aprendizaje-Servicio,* (10), 126-136. https://doi.org/10.1344/RIDAS2020.10.11

[16] Hofstein, A. (2017). The role of laboratory in science teaching and learning. En K.S. Taber and B. Akpan (Eds.), *Science education: An international Course Companion* (pp. 355-368). Brill.

[17] KDE Community (s.f.). *Kdenlive*. Recuperado el 11 de junio de 2024, de https://kdenlive.org/en/.

[18] Lagowski, J. J. (2005). A chemical laboratory in a digital world. *Chemical Education International, 6(*(1), 1-7. https://publications.iupac.org/cei/vol6/02_Lagowski.pdf

[19] Lienhard V, J.H. & Lienhard IV, J.H. (2024). *A Heat Transfer Textbook* (6ª ed.). Phlogiston Press.

[20] Mottier, P. (2009). *LEDs for Lighting Applications* (1ª ed.). John Wiley & Sons.

[21] Muse Group & contributors (s.f.). *Audacity*. Recuperado el 06 de junio de 2024, de https://www.audacityteam.org/.

[22] Nkemakolam, O. E., Chinelo, O. F., & Jane, M. C. (2018). Effect of Computer Simulations on Secondary School Students' Academic Achievement in Chemistry in Anambra State. *Asian Journal of Education and Training, 4*(4), 284-289. https://doi.org/10.20448/journal.522.2018.44.284.289

[23] Oduah, U., & Wu, Y. (2015). An Enhanced Blue Light Emitting Diode. *International Journal Of Engineering And Computer Science, 4*(12), 15349-15357. https://www.researchgate.net/publication/289244646_An_Enhanced_Blue_Light_Emitting_Diode

[24] Perkins, K., Moore, E., Podolefsky, N., Lancaster, K., & Denison, C. (2012). Towards research-based strategies for using PhET simulations in middle school physical science classes. *AIP Conference Proceedings, 1413*(1), 295-298. https://doi.org/10.1063/1.3680053

[25] Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado, 76,* de 30 de marzo de 2022. https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con.

[26] Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado, 82,* de 06 de abril de 2022. https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/04/05/243/con.

[27] Rodrigues, S. (2007). Factors that influence pupil engagement with science simulations: the role of distraction, vividness, logic, instruction and prior knowledge. *Chemistry Education Research and Practice, 8*(1), 1-12. https://doi.org/10.1039/B6RP90016J

[28] Rojas-Melgarejo, F. (2007). Nuevas tecnologías en la determinación experimental del valor de la aceleración de la gravedad en la Tierra. *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien., 5*(1), 110-113. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i1.13

[29] Sánchez, M. A. (2007). Animaciones Modellus y videos de experiencias de laboratorio para dar un nuevo impulso a la enseñanza de la mecánica newtoniana. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 6*(3), 729-745. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen06/ART14_Vol6_N3.pdf

[30] Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Almarza, A. Y. (1974). *Física general* (5ª ed.). Aguilar S.A.

[31] Torres-Climent, Á.L. (2009). Creación y utilización de vídeo digital y TICS en Física y Química. *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien., 6*(3), 440-451. http://hdl.handle.net/10498/9910

[32] University of Colorado Boulder (s.f.). *Simulaciones interactivas de ciencias y matemáticas*. Recuperado el 09 de junio de 2024, de https://phet.colorado.edu/es/.

Anexos A

Tablas de resultados

1 Caracterización de un LED

LED blanco

Voltaje/V	Intensidad/mA
0.000	0
0.451	0.00
0.968	0.00
1.462	0.00
2.014	0.00
2.423	0.00
2.504	0.12
2.543	0.37
2.579	0.84
2.600	1.25
2.657	2.83
2.704	4.54
2.747	6.44
2.804	9.23
2.850	11.68
2.908	15.07
2.951	17.80
3.001	21.10
3.049	24.53
3.099	28.12
3.124	30.02

Table A.1: Valores de voltaje e intensidad obtenidos para el LED blanco. Fuente: elaboración propia.

LED azul

Voltaje/V	Intensidad/mA
0.000	0.00
0.443	0.00
1.009	0.00
1.479	0.00
2.006	0.00
2.380	0.00
2.425	0.07
2.467	0.24
2.497	0.51
2.532	1.06
2.556	1.60
2.619	3.59
2.647	4.64
2.694	6.70
2.766	10.18
2.809	12.49
2.846	14.60
2.897	17.60
2.955	21.26
3.010	25.10

Table A.2: Valores de voltaje e intensidad obtenidos para el LED azul. Fuente: elaboración propia.

LED naranja

Voltaje/V	Intensidad/mA
0.000	0.00
0.611	0.00
1.015	0.00
1.597	0.00
1.652	0.00
1.729	0.05
1.757	0.10
1.780	0.20
1.810	0.40
1.846	0.90
1.896	2.46
1.945	5.36
2.001	10.63
2.051	18.15
2.096	28.89
2.100	30.35

Table A.3: Valores de voltaje e intensidad obtenidos para el LED naranja. Fuente: elaboración propia.

LED rojo

Voltaje/V	Intensidad/mA
0.000	0.00
0.605	0.00
1.036	0.00
1.532	0.00
1.599	0.03
1.667	0.19
1.723	0.53
1.763	1.01
1.790	1.47
1.814	2.01
1.861	3.33
1.899	4.64
1.943	6.47
2.002	9.32
2.051	12.05
2.097	14.90
2.143	17.89
2.220	23.41
2.253	26.06
2.290	29.07

Table A.4: Valores de voltaje e intensidad obtenidos para el LED rojo. Fuente: elaboración propia.

2 Comprobación de la ley de enfriamiento de Newton

c_p(agua)/$cal/(°C*g)$	1.0	L_v(agua)/cal/g	539.5

Table A.5: Valores utilizados para el calor específico del agua y el calor latente de vaporización del agua. Fuente: Babor e Ibarz-Aznárez (1979) [3].

m_0 real/g	605.69	m_f real/g	590.17
m_{vaso}/g	212.00	Δm real/g	15.52

Table A.6: Valores de las masas obtenidos a partir de la lectura de la balanza electrónica. Fuente: elaboración propia.

$ln(T_0$(ajuste)$-T_{amb})$	3.8457	$T_{ambiente}/°C$	18.6
T_0 (ajuste)/$°C$	65.4	$T_0(real)$	87.9
Q/J	37076.10	Δm calculada/g	16.43

Table A.7: Valores obtenidos en el cálculo de la masa de agua evaporada mediante el ajuste. Fuente: elaboración propia.

Tiempo/s	Temperatura/$^{\circ}C$	$ln(T - T_{ambiente})$
54	87.9	4.23
352	76.9	4.07
650	69.3	3.93
948	63.6	3.81
1247	59.0	3.70
1545	55.2	3.60
1843	51.9	3.51
2141	49.0	3.41
2439	46.6	3.33
2737	44.4	3.25
3035	42.5	3.17
3334	40.8	3.10
3632	39.3	3.03
3930	37.8	2.95
4228	36.5	2.88
4526	35.4	2.82
4824	34.3	2.75
5123	33.3	2.69
5421	32.4	2.62
5719	31.6	2.56
6017	30.8	2.50
6316	30.2	2.45
6614	29.5	2.39
6912	28.9	2.33
7210	28.3	2.27
7448	27.8	2.21

Table A.8: Valores de tiempo, temperatura y logaritmo neperiano de la diferencia entre la temperatura y la temperatura ambiente obtenidos. Fuente: elaboración propia.

3 Obtención de la focal de una lente convergente

d/cm	s'_1/cm	s'_2/cm	f'_1/cm	f'_2/cm
75.0	+58.0	+17.0	+13.147	+13.147
70.0	+52.0	+17.5	+13.371	+13.125
65.0	+46.0	+18.0	+13.446	+13.015
60.0	+40.0	+19.5	+13.333	+13.163
55.0	+33.5	+21.5	+13.095	+13.095

Table A.9: Valores medidos en el banco óptico. Incluye la distancia entre el objeto y su imagen (d), las dos distancias desde el centro de la lente hasta sus imágenes correspondientes (a'_1, a'_2) y las dos medidas de la focal calculadas (f'_1, f'_2). Fuente: elaboración propia.

d/cm	β'_1	β'_2	s'_1/cm	s'_2/cm	f'_1/cm	f'_2/cm
75.0	-3.40	-0.30	+57.955	+17.308	+13.171	+13.314
70.0	-3.00	-0.35	+52.500	+18.148	+13.125	+13.443
65.0	-2.45	-0.40	+46.159	+18.571	+13.380	+13.265
60.0	-1.90	-0.48	+39.310	+19.459	+13.555	+13.148
55.0	-1.60	-0.64	+33.846	+21.463	+13.018	+13.087

Table A.10: Valores medidos a partir de la imagen obtenida el banco óptico. Incluye la distancia entre el objeto y su imagen (d), los dos aumentos de la lente obtenidos (β'_1, β'_2), las dos distancias desde el centro de la lente hasta sus imágenes correspondientes calculadas (a'_1, a'_2) y las dos medidas de la focal calculadas (f'_1, f'_2). Fuente: elaboración propia.

4 Obtención de la gravedad mediante un péndulo

Resultados con Tracker

T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.32	1.32	1.24	1.12	1.04
1.36	1.28	1.20	1.08	1.04
1.36	1.32	1.24	1.16	1.00
1.40	1.28	1.20	1.12	1.04
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.360	1.300	1.220	1.120	1.030

Table A.11: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 20°, y su valor medio ($\bar{T}$). Fuente: elaboración propia.

T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.36	1.28	1.20	1.12	1.04
1.36	1.32	1.20	1.12	1.04
1.36	1.28	1.20	1.08	1.00
1.36	1.28	1.24	1.12	1.04
1.36	1.28	1.20		
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.360	1.288	1.208	1.110	1.030

Table A.12: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 15°, y su valor medio ($\bar{T}$). Fuente: elaboración propia.

T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.32	1.24	1.20	1.08	1.00
1.36	1.32	1.20	1.12	1.04
1.40	1.28	1.24	1.12	1.00
1.32	1.28	1.20	1.12	1.04
1.36	1.28	1.20	1.08	1.00
1.36	1.28			
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.353	1.280	1.208	1.104	1.016

Table A.13: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 10°, y su valor medio ($\bar{T}$). Fuente: elaboración propia.

T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.36	1.32	1.20	1.12	1.04
1.36	1.24	1.20	1.08	1.00
1.36	1.32	1.20	1.12	1.04
1.36	1.28	1.20	1.12	1.00
1.36	1.28	1.20	1.12	1.04
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.360	1.288	1.200	1.112	1.024

Table A.14: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 5°, y su valor medio ($\bar{T}$). Fuente: elaboración propia.

Resultados con Audacity

T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.370	1.292	1.218	1.116	1.028
1.369	1.291	1.218	1.115	1.028
1.370	1.292	1.217	1.115	1.028
1.371	1.292	1.217	1.115	1.028
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.3700	1.2918	1.2175	1.1153	1.0280

Table A.15: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 20°, y su valor medio ($\bar{T}$). Fuente: elaboración propia.

T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.366	1.288	1.214	1.112	1.024
1.361	1.288	1.214	1.112	1.024
1.366	1.288	1.214	1.111	1.023
1.366	1.288	1.214	1.111	1.024
1.366	1.288	1.214		
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.3650	1.2880	1.2140	1.1115	1.0238

Table A.16: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 15°, y su valor medio ($\bar{T}$). Fuente: elaboración propia.

T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.363	1.286	1.212	1.109	1.022
1.363	1.285	1.211	1.109	1.022
1.363	1.285	1.211	1.109	1.021
1.363	1.285	1.212	1.109	1.021
1.362	1.286	1.211	1.108	1.021
1.363	1.286			
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.3628	1.2855	1.2114	1.1088	1.0214

Table A.17: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 10°, y su valor medio ($\bar{T}$). Fuente: elaboración propia.

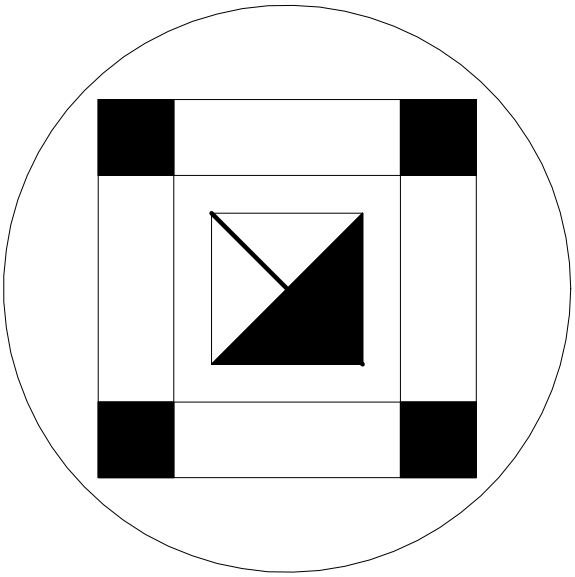
T/s para $l = 45\,cm$	T/s para $l = 40\,cm$	T/s para $l = 35\,cm$	T/s para $l = 30\,cm$	T/s para $l = 25\,cm$
1.360	1.283	1.208	1.105	1.018
1.360	1.282	1.210	1.105	1.018
1.360	1.282	1.204	1.105	1.018
1.360	1.282	1.207	1.105	1.017
1.359	1.283	1.210	1.104	1.018
$\bar{T}/s$ para $l = 45\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 40\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 35\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 30\,cm$	$\bar{T}/s$ para $l = 25\,cm$
1.3598	1.2824	1.2078	1.1048	1.0178

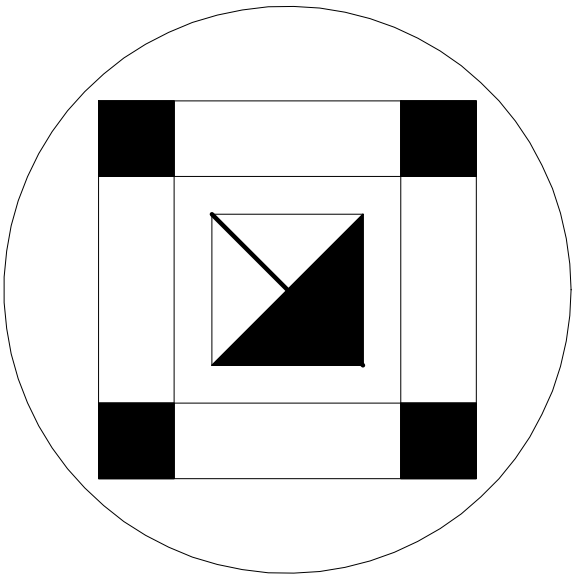
Table A.18: Valores obtenidos de los períodos (T) para cada longitud con un ángulo de 5°, y su valor medio ($\bar{T}$).Fuente: elaboración propia.

Anexos B

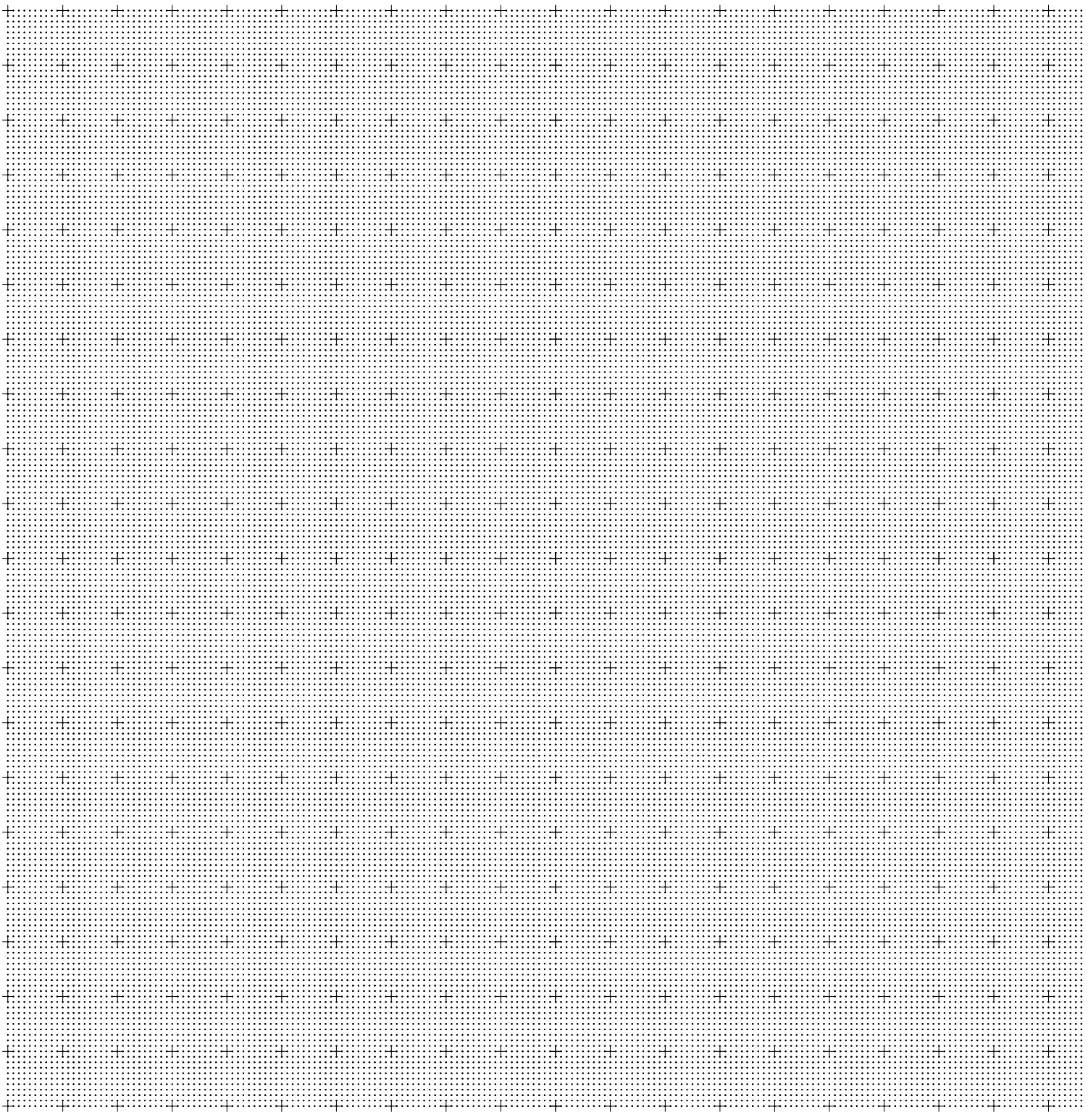
Diseños gráficos empleados

1 Objeto del banco óptico

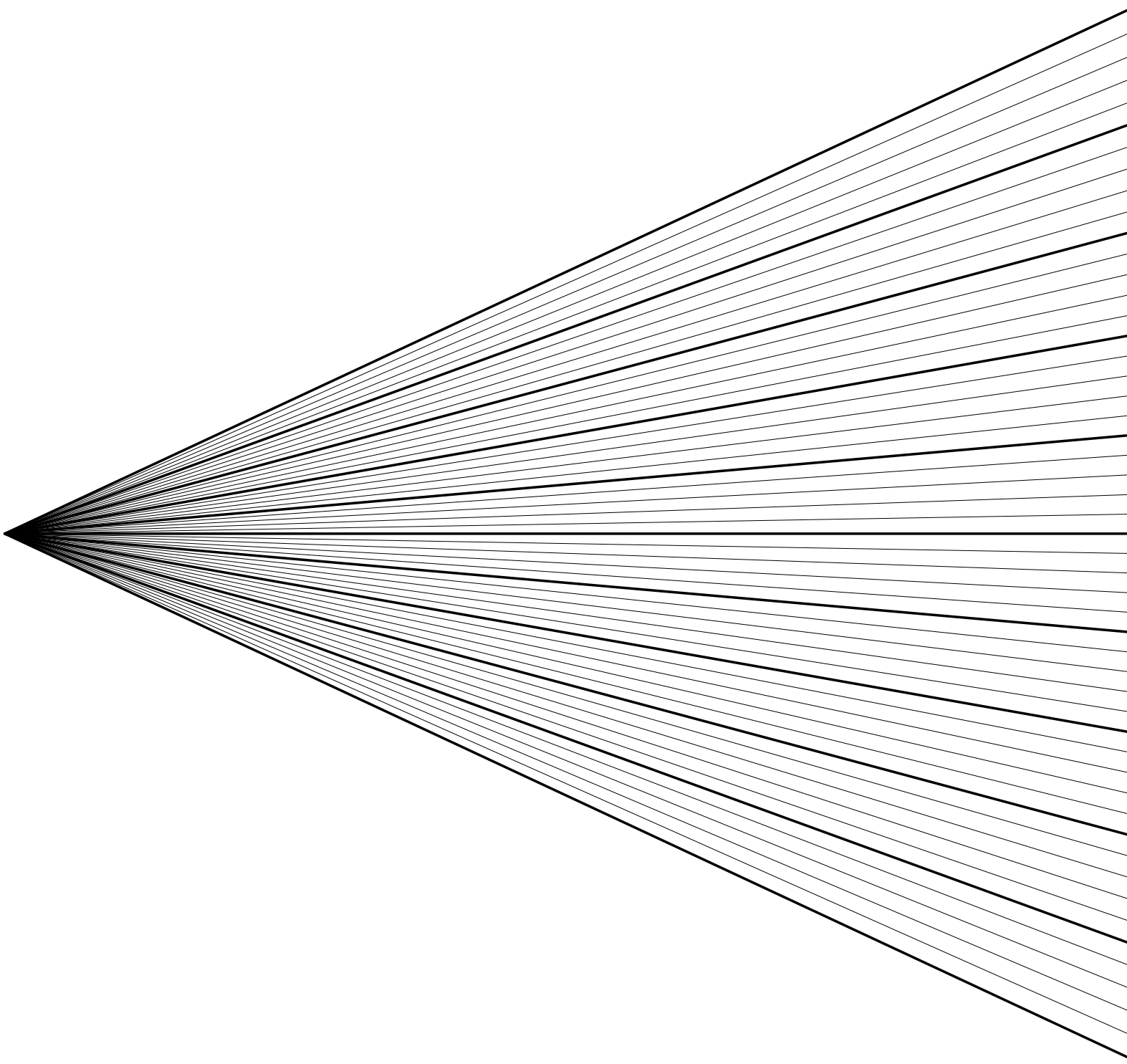




2 Cuadrícula de la pantalla del banco óptico



3 Ángulos y distancias para el péndulo



250 mm
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20