



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Aplicaciones acústicas de los smartphones en prácticas de laboratorio de Física

TESIS DOCTORAL

Memoria presentada por:

Camila Marín Sepúlveda

Directores:

Juan Carlos Castro Palacio

Juan Antonio Monsoriu Serra

Junio de 2025

Dedicatoria

A mi padre,

quien ha sido un ejemplo de integridad, esfuerzo y sabiduría.

Gracias por inculcarme, desde siempre, que la educación es el camino más valioso.

Agradecimientos

Quiero agradecer además a mi familia,
por acompañarme en este proceso con paciencia y amor.
Y a mis directores de tesis, por su guía y disposición durante todo este trabajo.

Gracias por el respeto en cada etapa y por haber sido parte de este camino.

Resumen

A raíz del constante avance digital, se propone el uso de una herramienta tecnológica utilizada a diario y de la cual muchas veces no logramos dimensionar su posible alcance: los teléfonos inteligentes (*smartphones*). En este caso puntual se propone utilizarlos para la realización de prácticas experimentales en prácticas de laboratorio de física, las cuales tienen por objetivo aplicar los conocimientos adquiridos previamente durante una o más clases teóricas. En este caso en particular, el tema abordado es en prácticas experimentales de física acústica.

Es así como, tras introducir este atractivo elemento, parte fundamental de nuestra vida, y sobre todo la de los jóvenes, es que estas prácticas experimentales de física se convierten en una instancia de proceso-aprendizaje accesible, familiar y cercana para conectar a los estudiantes con la asignatura.

El objetivo fundamental de esta Tesis es proponer nuevas experiencias de laboratorio para el estudio de la Física General en temas de acústica, para su uso en Educación Secundaria Obligatoria (ESO), Bachillerato y primer curso de grados de ingeniería. Para el desarrollo de las experiencias se utilizan los sensores disponibles en los *smartphones* como instrumentos de medición.

Específicamente, en este documento se exponen antecedentes sobre innovaciones educativas, el proceso de diseño de las prácticas experimentales propuestas y un compendio de las publicaciones realizadas. En esta recopilación se propone una serie de experiencias sencillas y de bajo coste. Para ello se utilizan el micrófono y los altavoces como sensores en la toma de medidas sobre las ondas acústicas, para determinar la velocidad terminal del sonido mientras un imán cae por un tubo, se generan ondas con una frecuencia específica para determinar la aceleración de gravedad de un cuerpo, y se utiliza la grabadora de voz para registrar la intensidad de una señal infrarroja generada para comprobar la ley del inverso de la distancia al cuadrado para la radiación electromagnética.

Los aportes derivados de esta tesis incluyen tres publicaciones en revistas internacionales sobre innovaciones didácticas de Física y, como aporte práctico, la propuesta de guiones para el desarrollo de prácticas de laboratorio relacionadas con experiencias innovadoras incluidas en esta tesis, fácilmente adaptables a cada etapa educativa.

Abstract

Due to the constant progress of digital technology, the use of a technological tool that is used daily, and whose potential we often fail to fully grasp, is proposed: smartphones. In this specific case, they are proposed for use in conducting experimental practices in physics laboratory sessions, which aim to apply the knowledge previously acquired during one or more theoretical classes. Specifically, the focus here is on experimental practices in acoustic physics. By introducing this engaging element, a fundamental part of our lives, especially for young people, these physics experimental practices become an accessible, familiar, and relatable learning process that helps connect students with the subject. The main goal of this thesis is to propose new laboratory experiences for the study of General Physics in the area of acoustics, aimed at use in compulsory Secondary Education, High School, and the first year of engineering degrees. To develop these experiences, the sensors available in smartphones are used as measuring instruments. Specifically, this document presents background information on educational innovations, the design process of the proposed experimental practices, and a compilation of related publications. The compilation includes a series of simple, low-cost experiments. For these, the microphone and speakers are used as sensors to measure acoustic waves, determine the terminal velocity of sound as a magnet falls through a tube, generate waves at a specific frequency to calculate the acceleration due to gravity of a body, and use the voice recorder to capture the intensity of an infrared signal to verify the inverse square law of distance for electromagnetic radiation.

The contributions derived from this thesis include three publications in international journals on didactic innovations in physics and, as a practical contribution, a set of proposed laboratory practice guides related to the innovative experiments included in this thesis, which are easily adaptable to each educational level.

Resum

Arran del constant avanç digital i l'era en què ens trobem immersos, es proposa l'ús d'una ferramenta tecnològica utilitzada diàriament i de la qual moltes vegades no aconseguim dimensionar el seu possible abast: els telèfons intel·ligents (telèfons intel·ligents). En este cas puntual es proposa utilitzar-los per a la realització de pràctiques experimentals en laboratori, les quals tenen per objectiu aplicar els coneixements adquirits prèviament durant una o més classes teòriques. En este cas en particular, el tema abordat és en pràctiques experimentals de física acústica.

És així com, després d'introduir este atractiu element, part fonamental de la nostra vida, i sobretot la dels jòvens, és que estes pràctiques experimentals de la física es convertixen en una instància de procés-aprenentatge accessible, familiar i pròxima per a connectar als estudiants amb l'assignatura.

L'objectiu fonamental d'esta Tesi és proposar noves experiències de laboratori per a l'estudi de la Física General en temes d'acústica, per al seu ús en Educació Secundària Obligatòria, Batxillerat i primer curs de graus d'enginyeria. Per al desenrotllament de les experiències s'utilitzen els sensors disponibles en els telèfons intel·ligents com a instruments de mesura.

Específicament, en este document s'exposen antecedents sobre innovacions educatives, el procés de disseny de les pràctiques experimentals proposades i un compendi de les publicacions realitzades. En esta recopilació es proposa una sèrie d'experiències senzilles i a baix cost. Per a això s'utilitzen el micròfon i els altaveus com a sensors en la presa de mesures sobre les ones acústiques, per a determinar la velocitat terminal del so mentre un imant cau per un tub, es generen ones amb una freqüència específica per a determinar l'acceleració de gravetat d'un cos, i s'utilitza la gravadora de veu per a registrar la intensitat d'un senyal infraroig generat per a comprovar la llei de l'invers de la distància al quadrat per a la radiació electromagnètica.

Les aportacions derivades d'esta tesi inclouen tres publicacions en revistes internacionals sobre innovacions didàctiques de Física i, com a aportació pràctica, la proposta de guions per al desenrotllament de pràctiques de laboratori relacionades amb experiències innovadores incloses en esta tesi, fàcilment adaptables a cada etapa educativa.

ÍNDICE

Capítulo 1	15
Introducción	17
1.1 Antecedentes	17
1.2 Proceso de diseño	20
1.2.1 Metodología del diseño	21
1.2.2 Diseños realizados	21
1.3 Objetivos de la Tesis	22
1.4 Estructura de la Tesis	22
Capítulo 2	25
Publicaciones	25
2.1 Acoustic characterization of magnetic braking with a smartphone	27
2.2 Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone as a 'sonar'.	33
2.3 Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control.	41
Capítulo 3	47
Discusión general de los resultados	47
3.1 Aportaciones realizadas	49
3.2 Evaluación de los resultados	50
Capítulo 4	51
Conclusiones	53
Bibliografía	
General	55
Anexos	63

Capítulo 1

Introducción

El objetivo de la investigación consiste en proponer nuevas experiencias de laboratorio para el estudio de la física acústica, utilizando los sensores de los *smartphones*. Esto permitirá comprobar que los *smartphones* constituyen una herramienta sencilla, motivadora y de bajo coste, al alcance de los alumnos y profesores, para el estudio de fenómenos acústicos en la enseñanza de la física.

Los sensores disponibles en los *smartphones* nos permiten seguir proponiendo prácticas de laboratorio introductorias a la física acústica, por ejemplo, para primer año de ingeniería, donde se puede combinar los conceptos de acústica con los de cinemática y dinámica.

En la siguiente memoria de tesis se presenta un compendio de artículos en los que se proponen diferentes experiencias innovadoras para realizar en el laboratorio de física. El uso de los móviles, una tecnología muy familiar para el alumnado, constituye un elemento de motivación al mismo tiempo que permite una mejor comprensión de los conceptos de la asignatura.

1.1 Antecedentes

La sociedad digital actual ha cambiado el concepto de vida, trabajo, juego y hasta formas de aprender. El dominio de los recursos tecnológicos puede simbolizar hoy en día una ventaja comparativa, influyendo en el posicionamiento de los individuos y países a nivel nacional y global (Deuze, 2006).

Sin duda la incorporación de estas tecnologías juega un papel fundamental de cambio, desde su uso como medio de comunicación, socialización, así como su función en la mejora de procesos en economía, salud, ocio, educación y hasta nuestra cultura científica, base sobre la cual se cimenta el desarrollo de la sociedad moderna (Colás y De Pablos, 2012).

En el ámbito educativo, el uso de las tecnologías de la información (TICs) beneficia sin duda alguna el aprendizaje del estudiantado al integrarse de forma adecuada al currículo. De esta forma, se obtiene una interacción entre los procesos de enseñanza y aprendizaje, donde el estudiantado puede adquirir habilidades cognitivas superiores y conseguir en definitiva estar más preparados para el mundo laboral y social que les depara. Algunos ejemplos de estos son el uso de ordenadores, tabletas, pizarras digitales, lectores de libros electrónicos o hasta el uso de aula invertida. (Goodwin, 2012).

Además, utilizar estas herramientas en el área educativa aporta una nueva vía para asimilar la información, entender ideas o profundizar conceptos para aquellos estudiantes que tienen un estilo diferente de aprendizaje, sobre todo cuando se trata de

incorporar experiencias visuales o táctiles, permitiendo asimilar de mejor forma los conocimientos aprendidos (Tileston, 2003) y contribuir así al desarrollo de una sociedad moderna y equilibrada (Pérez Tornero, 2005).

Particularmente en España, en el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, se menciona dentro de las ocho competencias claves en educación, la importancia del desarrollo de la Competencia Digital (CD) para el uso responsable de las tecnologías digitales en el aprendizaje.

Es así entonces, inmersos en esta era digital y teniendo en cuenta que el trabajo en aula sobre estudios de física se realiza con adolescentes que cursan Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO), Bachillerato o estudios universitarios, cabe destacar que los teléfonos inteligentes constituyen una herramienta tecnológica atractiva para éstos, donde su uso les resulta familiar y cómodo, ya que es un dispositivo que forma parte fundamental de nuestras vidas cotidianas, y sobre todo para estas nuevas generaciones. Lo utilizamos para activar una alarma para despertarnos, escuchar música, consultar la agenda, leer las noticias, y para comunicarnos tanto social como laboralmente con nuestro entorno (Marín-Sepúlveda, 2022a).

Por otro lado, la familiaridad y la facilidad para acceder al uso de un *smartphone* (Instituto Nacional de Estadística, 2022), nos permite plantear la idea de abrir el espectro del alcance que puede tener el uso de estos instrumentos en nuestra labor como docentes. Sacar el máximo provecho al abanico de posibilidades que existe, por ejemplo, utilizar los *smartphones* de los propios alumnos como instrumento de medida en prácticas de laboratorio gracias a los sensores que llevan integrados estos dispositivos, contribuyendo así de forma más llamativa al estudio de prácticas experimentales de física. Algunos de estos instrumentos de medida son muy sencillos como cronómetro o regla, y otros son mucho más complejos como el multímetro y osciloscopio.

En cuanto a la enseñanza de la física en España y los objetivos de cada etapa educativa dentro de la asignatura, cabe mencionar que en la ESO se tiene como objetivo la alfabetización científica de los estudiantes de forma que sus conocimientos, actitudes y destrezas le permitan desarrollarse en un mundo de continuo avance social, científico y tecnológico. Desarrollar además el pensamiento científico explicando e interpretando información proveniente de diversas fuentes, haciendo hincapié en las prácticas experimentales, las cuales contribuyen directamente al alcance de estas destrezas (Ministerio de Educación, 2022a). Por otro lado, en cuanto al currículo de Bachillerato, se menciona la importancia de que el estudiante comprenda la evolución constante de las ciencias físicas y que esta se encuentra íntimamente relacionada con la tecnología, demostrando que los fenómenos que se estudian en ella no son complejos y se pueden comprobar en la vida real (Ministerio de Educación, 2022b)

Por lo tanto, en cuanto a la enseñanza de la física, se debe tener en cuenta que se encuentra fuertemente enlazada a la realización de prácticas experimentales, que expliquen los fenómenos de esta área de las ciencias. Basado en este fundamento, este trabajo permite integrar los conocimientos teóricos adquiridos, como también conocer sus limitaciones, aprender el uso de material y técnicas de medición, obtención de datos y el posterior análisis de ellos. Por lo tanto, resulta necesario potenciar esta área práctica de la enseñanza, haciéndolo más atractivo e incentivando el trabajo autónomo de los estudiantes.

En este tipo de instancias donde los estudiantes son sujetos activos durante su aprendizaje, es que se genera el espacio para aprendizajes significativos, generando no solo entrenamiento intelectual, relacional y autónomo, sino además ayudando a generar expansión cognitiva y metacognitiva. Esta teoría del aprendizaje significativo fue desarrollada por David Ausubel y Joseph Novak, quienes formularon una teoría que ha mostrado grandes promesas para la discusión sobre la práctica educativa. La idea primaria es que el aprendizaje del nuevo conocimiento se construye en cuanto se integra la nueva información en la estructura de conocimiento existente, la cual se construye a lo largo de nuestra vida, especialmente durante nuestra juventud. Se construyen a partir de nuestra experiencia con el mundo, cuando interactuamos con otras personas y cuando aprendemos, y se hacen más complejas cuando somos capaces de experimentar fenómenos nuevos. Se trata en el fondo de aprender comprendiendo la realidad e integrar en mundos de significatividad.

Las prácticas de laboratorio permiten realizar experimentos que complementan la teoría, forman a los estudiantes en el método científico, y les hacen interiorizar los conceptos fundamentales (Séré, 2002). Por otro lado, están diseñadas para permitir el desarrollo de habilidades como el trabajo en equipo, el habituarse al uso correcto de instrumentos de medición dentro de un laboratorio y el trabajo meticuloso para obtener resultados válidos para el área científica. Pero muchas veces este trabajo no resulta motivador para el alumnado y carece de una reflexión crítica una vez realizado su trabajo.

Es por esto, que el simple hecho de incorporar una tecnología tan cotidiana como el *smartphone* permitiría generar un impacto directo en los alumnos incentivando el aprendizaje permanente, autónomo y flexible. Motivándolos a practicar la comunicación efectiva de los resultados obtenidos, y por ende, a adquirir competencias transversales como el desarrollo del pensamiento crítico y lograr así relacionarlo y entender los fundamentos en los que está basado.

Dentro de la literatura científica existe un número creciente de propuestas de experimentos de física en los que se integra el *smartphone* como un nuevo elemento motivador. El teléfono de los propios alumnos se incorpora en las prácticas de laboratorio como un dispositivo de medida y toma de datos mediante los sensores que

lleva incorporados. Se trata de una línea de investigación relativamente reciente e innovadora, ya que los primeros experimentos docentes sencillos con *smartphones* (Kuhn, 2012) y tabletas (Silva, 2012; Streepey, 2013) fueron publicados a nivel de secundaria en la revista *The Physics Teacher* de la American Association of Physics Teachers entre 2012 y 2013. Durante esos años, también comenzaron las primeras experiencias publicadas para el nivel universitario (Castro-Palacio, 2013^a, [Castro-Palacio, 2013b, Monteiro, 2014; Arribas, 2015]).

En este contexto, y con esta intención de innovar en el área educativa incorporando el *smartphone* al alumnado como instrumento de medida y toma de datos, surge SMARTPHYSICS para los primeros cursos de universidad. Este grupo de trabajo ha extendido las experiencias hacia un marco más cuantitativo en las que el alumnado debe realizar un riguroso análisis de las mediciones obtenidas a través de los sensores.

La primera de estas propuestas fue publicada en la revista *American Journal of Physics* editada por la American Association of Physics Teachers (Castro-Palacio, 2013a), utilizando el sensor de acelerómetro para caracterizar oscilaciones libres y amortiguadas. A esto le siguieron un sinnúmero de nuevas publicaciones que enlazan experiencias con sensores como el acelerómetro para caracterizar movimientos circulares (Castro-Palacio, 2014; Salinas, 2019a) u oscilaciones bidimensionales (Tuset-Sanchis, 2015; Giménez, 2017a), el giroscopio como sensor de movimiento de la velocidad angular para analizar la dinámica de un movimiento, como el de un yoyó (Salinas, 2019b), o utilizar sensores acústicos como un sonómetro utilizando su micrófono para medir la intensidad y caracterizar por ejemplo el efecto Doppler (Gómez-Tejedor, 2014). También podemos encontrar trabajos que utilizan sensores de presión como el barómetro para medir la presión en función de la profundidad permitiendo determinar la densidad de un líquido (Salinas, 2018a) o utilizar sensores ópticos como el sensor de luz ambiente para estudiar la eficiencia luminosa de una lámpara (Sans, 2017) o para la caracterización de fuentes luminosas lineales (Salinas, 2018b).

1.2 Proceso de diseño

Teniendo en cuenta que la innovación educativa apunta a incorporar las TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se propone el uso de *smartphones* como instrumento de laboratorio. Estos poseen sensores que pueden ser empleados para detectar o generar distintos fenómenos que aportarán al estudio de alguna parte teórica de la física acústica.

Para realizar los experimentos se ha utilizado la aplicación de *Physics Toolbox Sensor Suite* (Vieyra Software, 2022), quién proporciona la posibilidad de recolectar, reproducir, grabar y exportar datos. Es muy utilizada para clases de ciencias, tecnología, ingeniería

y matemáticas. La disponibilidad de los sensores y su precisión dependerá del tipo de *smartphone* que se utilice.

1.2.1 Metodología del diseño

La metodología de diseño para crear estas propuestas experimentales consiste en:

- Identificar un concepto teórico de la física acústica.
- Estudiar la forma de materializar la experiencia a través de una práctica de laboratorio sencilla y de bajo coste.
- Elaborar una propuesta que incluya el uso de sensores de *smartphones*.
- Obtener datos, analizar resultados y compararlos con el resultado esperado teóricamente.
- Considerar qué actividades experimentales, conectadas con los intereses y habilidades de los estudiantes contribuyen significativamente a su aprendizaje.
- Generar una retroalimentación de los estudiantes al incorporar un *smartphone* a su práctica de laboratorio habitual, y conocer sobre su nivel de motivación e interés.

1.2.2 Diseños realizados

Los diseños propuestos se recopilan a lo largo de esta tesis comenzando en primer lugar con el estudio de la velocidad terminal de un imán que cae en el interior de un tubo de aluminio (no ferromagnético). La innovación propuesta consiste en utilizar el altavoz del *smartphone* para generar ondas de sonido y el micrófono para detectar los nodos y la resonancia de éstas en una columna de aire.

Durante una segunda experiencia se determina la aceleración de la gravedad terrestre g mediante el movimiento de la caída libre de un cuerpo a través de un tubo de aluminio. En este caso el *smartphone* es utilizado para generar ondas y detectar simultáneamente la resonancia de éstas. La novedad que aporta el *smartphone* es la capacidad de generar y recibir ondas sonoras para rastrear el movimiento de un cuerpo como lo hace el ‘sonar’ de un submarino.

Por último, se estudia la ley del inverso de la distancia al cuadrado para la radiación electromagnética en el rango infrarrojo. La intensidad de la señal infrarroja de un mando a distancia de un televisor se midió a diferentes distancias mediante una célula solar conectada a un altavoz. El sonido producido por los pulsos infrarrojos que inciden en la célula se registró con la grabadora de voz de un teléfono inteligente y se analizó posteriormente para obtener la intensidad de la señal.

1.3 Objetivos de la Tesis

El objetivo fundamental de la investigación consiste en proponer nuevas experiencias de laboratorio para el estudio de la Física General en temas de acústica, para su uso en Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y primer curso de grados de ingeniería utilizando los sensores disponibles en los *smartphones* como instrumentos de medición.

En cuanto a los objetivos específicos relacionados con la investigación, se encuentran:

- Realizar aportaciones teóricas que sostienen la importancia del estudio de la física mediante actividades que incentiven el aprendizaje significativo y que permita desarrollar la competencia digital.
- Generar aportes didácticos, mediante propuestas de prácticas guiadas de laboratorio fácilmente adaptables a cada etapa educativa.
- Comprobar que utilizar los sensores de un *smartphone* durante las prácticas de laboratorio constituyen una herramienta sencilla, motivadora y de bajo coste, al alcance de los alumnos y profesores.
- Investigar particularmente el uso del sensor de altavoz y micrófono para generar y detectar las ondas del sonido.

1.4 Estructura de la Tesis

A continuación, se presenta una Tesis por compendio de artículos científicos, donde cada uno de éstos contiene marco teórico, objetivos, resultados y conclusiones. Esto permite que cada uno de ellos pueda ser leído de forma individual y autónoma, ya que contiene cada uno de los aspectos necesarios para su comprensión.

Por otro lado, resulta importante enfatizar en que todos estos artículos se enmarcan en el mismo contexto: realizar una propuesta de nuevas experiencias de laboratorio de Física acústica utilizando como instrumento el uso de *smartphones*.

Es así como esta Tesis se estructura en los siguientes cuatro capítulos y un apartado con anexos, donde se proponen guiones de prácticas de laboratorio.

Capítulo 1. Introducción.

Capítulo 2. Publicaciones.

- Acoustic characterization of magnetic braking with a smartphone.
- Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone “as a sonar”.
- Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control.

Capítulo 3. Discusión general de los resultados.

Capítulo 4. Conclusiones.

El Capítulo 1 de esta Tesis corresponde a la Introducción, donde se recopila el marco teórico de esta investigación y se exponen los objetivos propuestos. Además, se detalla la metodología de diseño describiendo el contenido de cada apartado que la conforma.

El **primer artículo** que se presenta en la siguiente tesis lleva por título “Acoustic characterization of magnetic braking with a *smartphone*” (Marín- Sepúlveda, 2022b), donde se propone utilizar la resonancia de las ondas sonoras en una columna de aire para estudiar la velocidad terminal de un imán que cae en el interior de un tubo de aluminio (no ferromagnético). Tras grabar el audio con el *smartphone* mientras el imán cae dentro del tubo, es posible graficar la amplitud del sonido en relación con el tiempo se obtiene al detectar los nodos del micrófono del *smartphone* mientras cae el imán, permitiendo así determinar la velocidad del sonido. Este artículo se ha publicado en la revista The Physics Teacher editada por la American Association of Physics Teachers. Se encuentra indexada en la Web of Science en el campo “PHYSICS, MULTIDISCIPLINARY” del JCR Science Edition con un factor de impacto de 0,9 (Q4 en JCR2022). También se está indexada en el ámbito “EDUCATION” de Scopus (ELSEVIER) con un índice de impacto de 0.514 (Q2, SJR 2022).

El **segundo artículo** que se presenta lleva por título “Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone “as a sonar” (Marín-Sepúlveda, 2023). El *smartphone* es utilizado para generar ondas sonoras a una frecuencia determinada y así mismo detectar la resonancia de éstas dentro del tubo. Un resultado interesante tras realizar esta experiencia es capacidad del *smartphone* de actuar como el “sonar” de un submarino, generando y recibiendo ondas del sonido mientras rastrea el movimiento de un cuerpo. Es así como los conceptos de cinemática y acústica se combinan para determinar la aceleración de gravedad. Este artículo se publicó en la revista Physics Education, editada por IOP Publishing Ltd. Esta revista se encuentra indexada en el ámbito “EDUCATION” de Scopus (ELSEVIER) con un índice de impacto de 0.389 (Q2, SJR 2023).

En el **tercer artículo** lleva por título “Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control” (Marín- Sepúlveda, 2024) se comprueba experimentalmente la ley del inverso de la distancia al cuadrado para la radiación electromagnética en el rango infrarrojo. La intensidad de la señal infrarroja de un mando a distancia se midió a diferentes distancias mediante una célula solar conectada a un altavoz. El sonido producido por los pulsos infrarrojos que inciden en la célula se registró con la grabadora de voz de un teléfono inteligente y se analizó posteriormente para obtener la intensidad de la señal. Este artículo se publicó en la revista Physics Education, editada por IOP Publishing Ltd. Esta revista se encuentra indexada en el ámbito “EDUCATION” de Scopus (ELSEVIER) con un índice de impacto de 0.523 (Q2, SJR 2024).

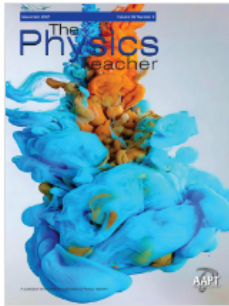
Capítulo 2

Publicaciones

2.1 Acoustic characterization of magnetic braking with a smartphone



Volume 60, Issue 8
November 2022



[Previous Article](#) [Next Article](#)

IPHYSICSLABS | NOVEMBER 01 2022

Acoustic characterization of magnetic braking with a smartphone

Camila F. Marín Sepúlveda; Juan C. Castro-Palacio; Isabel Salinas; Juan A. Monsoriu



Phys. Teach. 60, 706–707 (2022)

<https://doi.org/10.1119/5.0097792>

Share

Tools

Smartphone sensors have shown to be adequate to perform physics experiments in high school and first-year university physics courses. The published work covers a wide range of topics within general physics such as linear and circular motions, oscillations, beats, acoustics, and optics, among others. The microphone and speakers have been particularly useful for studying sound phenomena, such as the determination of the speed of sound, the study of acoustic beats, or the Doppler effect.

References

1. M. Monteiro and A.C. Martí, "Resource letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching," *Am. J. Phys.* 90, 328–343 (2022). <https://doi.org/10.1119/5.0073317>
[Google Scholar](#) [Crossref](#)
2. P. Vogt and J. Kuhn, "Experiments using cell phones in physics classroom education: The computer-aided g determination," *Phys. Teach.* 49, 383–384 (2011).
<https://doi.org/10.1119/1.3628272>
[Google Scholar](#) [Crossref](#)
3. I. Salinas, M. Monteiro, A. C. Martí, and J. A. Monsoriu, "Analyzing the dynamics of a yo-yo using a smartphone gyroscope sensor," *Phys. Teach.* 58, 569–571 (2020).
<https://doi.org/10.1119/10.0002379>
[Google Scholar](#) [Crossref](#)
4. J. C. Castro-Palacio, L. Velazquez-Abad, M. H. Gimenez, and J. A. Monsoriu, "Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations," *Am. J. Phys.* 81, 472–475 (2013). <https://doi.org/10.1119/1.4793438>
[Google Scholar](#) [Crossref](#)
5. M. H. Giménez, J. C. Castro-Palacio, and J. A. Monsoriu, "Direct visualization of mechanical beats by means of an oscillating smartphone," *Phys. Teach.* 55, 424–425 (2017).
<https://doi.org/10.1119/1.5003745>
[Google Scholar](#) [Crossref](#)

Acoustic characterization of magnetic braking with a smartphone

Camila F. Marín Sepúlveda¹, Juan C. Castro-Palacio¹, Isabel Salinas¹
and Juan A. Monsoriu¹

¹ *Universitat Politècnica de València, Centro de Tecnologías Físicas, València, Spain.*

Abstract

Smartphone sensors have shown to be adequate to perform physics experiments in introductory and first-year university physics courses (Monteiro, 2022). The published work covers a wide range of topics within general physics such as linear (Vogt, 2011) and circular (Salinas, 2020) motions, oscillations (Castro-Palacio, 2013), beats (Giménez, 2017b), acoustics (Niu, 2022, Kuhn, 2014; Gómez-Tejedor, 2004) and optics, among others. The microphone and speakers have been particularly useful for studying sound phenomena, such as the determination of the speed of sound (Niu, 2022) the study of acoustic beats (Kuhn, 2014) or the Doppler effect (Gómez-Tejedor, 2004).

In this work, we will use sound wave resonance in an air column to study the terminal velocity of a falling magnet inside a non-ferromagnetic pipe (made of aluminium). Magnetic braking is a widely used concept when the topic of Faraday's law of induction is introduced (Wiederick, 1987). The magnetic braking of a magnet inside a non-ferromagnetic pipe (e.g., made of aluminium or cooper) follows a similar model as the body falling in the air. When the magnet is dropped into the vertical pipe, it experiences an upward force proportional to the increasing velocity. Very shortly, the braking force approaches the weight force, leading to a linear uniform motion with a constant terminal velocity.

1.Experiment

Figure 1 shows the experimental setup used for the experiment. On the left side of the figure, the mobile phone, the magnet, and the aluminium pipe are shown. The magnet diameter fits the inner diameter of the pipe but such that a fine air layer still exists between the pipe and the magnet. The length of the pipe is 1.524 m, and its inner diameter 0.021 m. The diameter of the magnet is 0.197 m and its height 0.058 m. A schematic representation of the pipe with a standing wave produced as the magnet falls is represented on the right side of the figure.

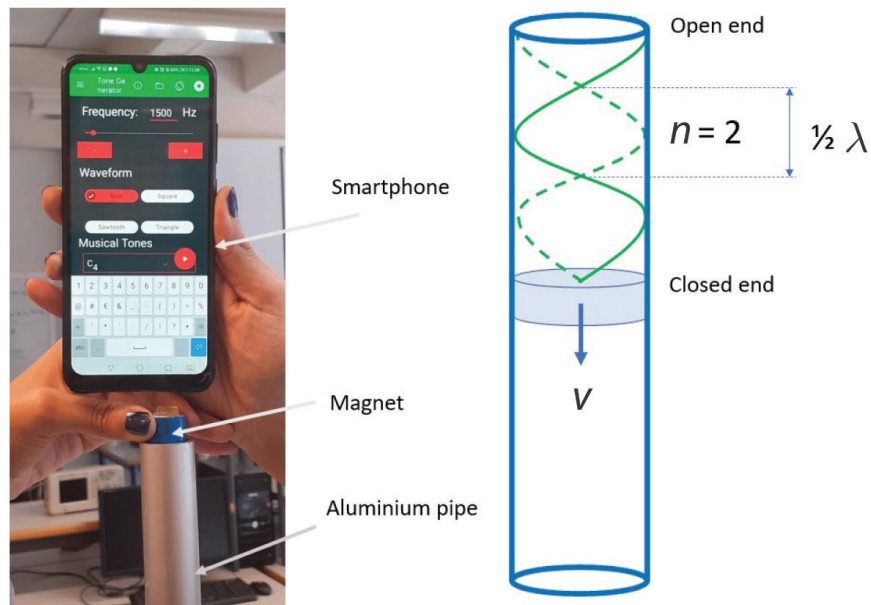


Figure 1. Experimental setup on the left-hand side and schematic representation of the aluminium pipe, the magnet, and the standing wave on the right-hand side.

The smartphone is used here with a double purpose, that is, to generate the single-frequency sine sound wave and to record the standing sound wave produced between the open end and the closed end consisting of the magnet moving through the pipe. For the single-tone sound wave generation, the free Android app Physics Toolbox Suite has been used (Figure 1). When the magnet goes down in the non-ferromagnetic vertical pipe, sound amplitude variations are produced. These variations are registered by recording the sound with the Voice Recorder app, commonly incorporated in Android smartphones.

The described system can be modeled by an open-end air column for which resonances take place according to the following expression:

$$L_n = \frac{\lambda_n(2n+1)}{4}; \text{ with } n = 0,1,2,3,\dots \quad (1)$$

Every time the magnet reaches a resonant length L_n , that is, a length that equals an odd number of $\lambda/4$, a node is produced. Here, λ is the wavelength of the sound wave.

2. Results

The nodes are detected in our experiment by the microphone and registered with the Voice Recorder application. For the best results, the room should remain silent during the experiments. Figure 2 shows the recorded “wav” file. The amplitude of the sound wave is plotted vs. time. The nodes are clearly visible along the curve.

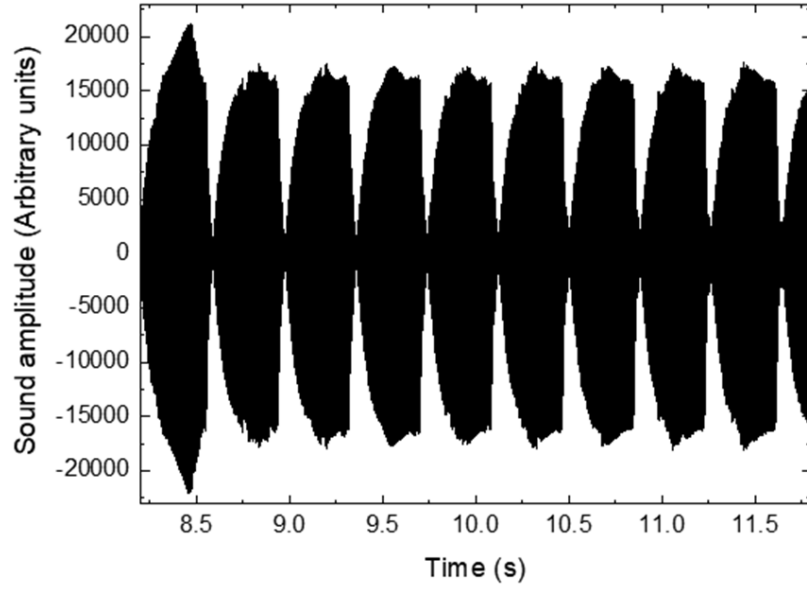


Figure 2. Audio recorded with the smartphone while the magnet was falling inside the pipe. The graph represents the amplitude of the sound versus Time.

Taking the length for a given node ($n=0$) as reference,

$$L_n - L_0 = \frac{\lambda_n(2n+1)}{4} - \frac{\lambda_n}{4} = \frac{\lambda_n}{2}n \quad (2)$$

And assuming that a linear uniform motion is reached very quickly after the magnet enters the pipe, the expression $L_n - L_0 = v(t_n - t_0) = v\Delta t_n$ can be substituted in Equation (2) to obtain,

$$\Delta t_n = \frac{\lambda_n(2n+1)}{4v} - \frac{\lambda_n}{4v} = \frac{\lambda_n}{2v}n \quad (3)$$

where v is the velocity of the falling magnet and Δt_n the time elapsed from the moment a node taken as reference is produced to each of the subsequent consecutive nodes. The wavelength in equation (3) is calculated as $\lambda_n = v_s/f_n = 0.1818 \text{ m}$, where $v_s = 345.48 \text{ m/s}$ is the speed of sound at 24 °C (room temperature) and $f_n = 1900 \text{ Hz}$ is the frequency set at the sound tone generator of the Physics Tool Suite mobile app. The values of Δt_n calculated according to equation (3) are included in Table I as a function of the node number, n .

n	t_n (s)	$\Delta t_n = t_n - t_0$ (s)
0	10.126	0
1	10.597	0.387
2	10.877	0.755
3	11.262	1.139
4	11.646	1.523
5	12.030	1.908
6	12.415	2.292
7	12.799	2.677
8	13.166	3.043
9	13.567	3.445
10	13.934	3.812

Table 1. The first column shows a number identifying the consecutive nodes, the second the corresponding time elapsed, and the third the time elapsed relative to the node $n = 0$ taken as reference.

Figure 3 shows a linear fit applied to the time elapsed from the moment a node taken as reference ($n = 0$) is produced to each of the consecutive nodes (Δt_n) versus $n = 1, 2, 3, 4, \dots$. The last 10 nodes out of 16 nodes given in the pipe have been used to make the graph. The equation resulting from the fit is $\Delta t_n = (0.03819n - 0.0026)s$ with a coefficient of determination of $R^2 = 0.999$. According to equation (3), the slope is , from which the velocity of the falling magnet can be calculated: $V = 0.2380 \text{ m/s}$.

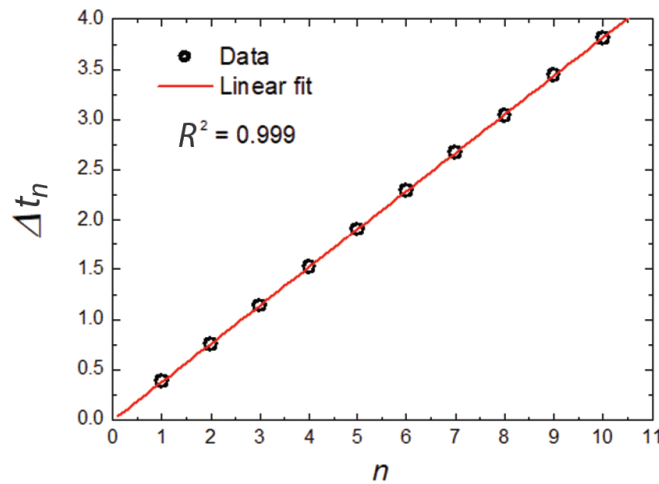


Figure 3. Time elapsed from a node taken as reference to each of the consecutive nodes. The last 10 nodes out of 16 nodes given in the pipe have been used in the graph.

3. Final remarks

For comparison, an alternative method has been used to calculate the velocity of the falling magnet. The total traveling time of the magnet through the pipe of length 1.524 m has been measured seven times with a stopwatch. The resulting average time is 6.477 s (the measured times were 6.48, 6.47, 6.48, 6.48, 6.48, 6.47, and 6.48 s). The resulting mean velocity using this method was 0.2353 m/s. The percentage difference between the velocities calculated with the different methods is 1.14%, which confirms the fact that the terminal velocity is reached soon after the magnet starts its travel inside the pipe.

4. References

[Castro-Palacio, 2013] Castro-Palacio, J. C., Velazquez-Abad, L., Gimenez, M. H., & Monsoriu, J. A. (2013). Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations. *American Journal of Physics*, **81**, 472–475.

[Giménez, 2017b] Giménez, M. H., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2017). Direct visualization of mechanical beats by means of an oscillating smartphone. *Physics Teacher*, **55**, 424–425.

[Gómez-Tejedor, 2004] Gómez-Tejedor, J. A., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2004). The acoustic Doppler effect applied to the study of linear motions. *European Journal of Physics*, **35**, 025006.

[Kuhn, 2014] Kuhn, J., Vogt, P., & Hirth, M. (2014). Analyzing the acoustic beat with mobile devices. *Physics Teacher*, **52**, 248–249.

[Monteiro, 2022] Monteiro, M., & Martí, A. C. (2022). Resource letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching. *American Journal of Physics*, **90**, 328–343.

[Niu, 2022] Niu, Z. J., & Luo, D. (2022). Measurement of the velocity of sound through resonance in air columns as a homemade experiment. *Physics Teacher*, **60**, 114–116.

[Salinas, 2020] Salinas, I., Monteiro, M., Martí, A. C., & Monsoriu, J. A. (2020). Analyzing the dynamics of a yo-yo using a smartphone gyroscope sensor. *Physics Teacher*, **58**, 569–571.

[Vogt, 2011] Vogt, P., & Kuhn, J. (2011). Experiments using cell phones in physics classroom education: The computer-aided g determination. *Physics Teacher*, **49**, 383–384.

[Wiederick, 1987] Wiederick, H. D., et al. (1987). Magnetic braking: Simple theory and experiment. *American Journal of Physics*, **55**, 500–503.

2.2 Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone as a 'sonar'.

IOPscience  Journals ▾ Books Publishing Support  Login ▾

Physics Education

PAPER

Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone as a 'sonar'

Camila F Marín-Sepúlveda¹ , Juan C Castro-Palacio¹ , Marcos H Giménez¹  and Juan A Monsoriu^{2,1} 

Published 8 March 2023 • © 2023 IOP Publishing Ltd
[Physics Education](#), [Volume 58](#), [Number 3](#)
Citation Camila F Marín-Sepúlveda *et al* 2023 *Phys. Educ.* 58 035011
DOI 10.1088/1361-6552/acbaf6

[References](#) ▾

▾ Article and author information

Abstract

The gravitational constant is determined by tracking the movement of a free-falling body in an aluminium pipe. For this purpose, a smartphone is used to generate sound waves of a specific frequency and to simultaneously detect the sound wave resonances in the tube. The ability of smartphones to generate and receive the sound waves to track a moving body, like a 'submarine SONAR' does, is an essential point in this work. Concepts of kinematics and acoustics are combined to determine the gravitational acceleration within 1% when the result is compared with the reported value.

Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone as a 'sonar'

Camila F. Marín-Sepúlveda¹, Juan C Castro-Palacio¹, Marcos H Giménez¹ and Juan A Monsoriu¹.

Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 València, Spain.

Abstract

The gravitational constant is determined by tracking the movement of a free-falling body in an aluminium pipe. For this purpose, a smartphone is used to generate sound waves of a specific frequency and to simultaneously detect the sound wave resonances in the tube. The ability of smartphones to generate and receive the sound waves to track a moving body, like a 'submarine SONAR' does, is an essential point in this work. Concepts of kinematics and acoustics are combined to determine the gravitational acceleration within 1% when the result is compared with the reported value.

Keywords: smartphone, gravitational acceleration, acoustics

1. Introduction

The use of smartphone sensors in introductory and first-year university physics courses have become very popular in the last decade (Monteiro, 2022; Castro-Palacio, 2013; Kuhn, 2013a). A wide range of topics within general physics courses has been covered by the published work, such as linear and circular motions, oscillations (Castro-Palacio, 2013b; Kuhn, 2013; Salinas, 2020), beats (Kuhn, 2014; Giménez, 2017b), optics (Salinas, 2018b; Barreiro, 2014), acoustics (Gómez-Tejedor, 2014; Kuhn, 2013b; Niu, 2022; Hellesund, 2019; Kasper, 2015), among others. The calculation of the gravitational constant using different method has always been of broad interest in teaching (Pili, 2020; Pili, 2021; Vogt, 2011). Even so, this topic continues to call the attention of Physics instructors as new interesting and creative works on smartphone sensors are still coming up. In particular, the microphone and the speakers of the smartphone appear in many works to characterize acoustic phenomena, e.g. for the determination of the speed of sound (Niu, 2022; Hellesund, 2019; Kasper, 2015), the study of acoustic beats (Kuhn, 2014), or the Doppler effect (Gómez-Tejedor, 2014).

In this work, we will use sound wave resonance in an air column to track the free-falling of a body inside an aluminium pipe. The smartphone is used with a double purpose, that is, to generate sound waves of a given frequency into the inside of the pipe and to listen to the result of the sound wave resonance. From the information collected in the recorded sound file, the movement of the body is reconstructed, and the gravitational constant determined by means of a non-linear fitting.

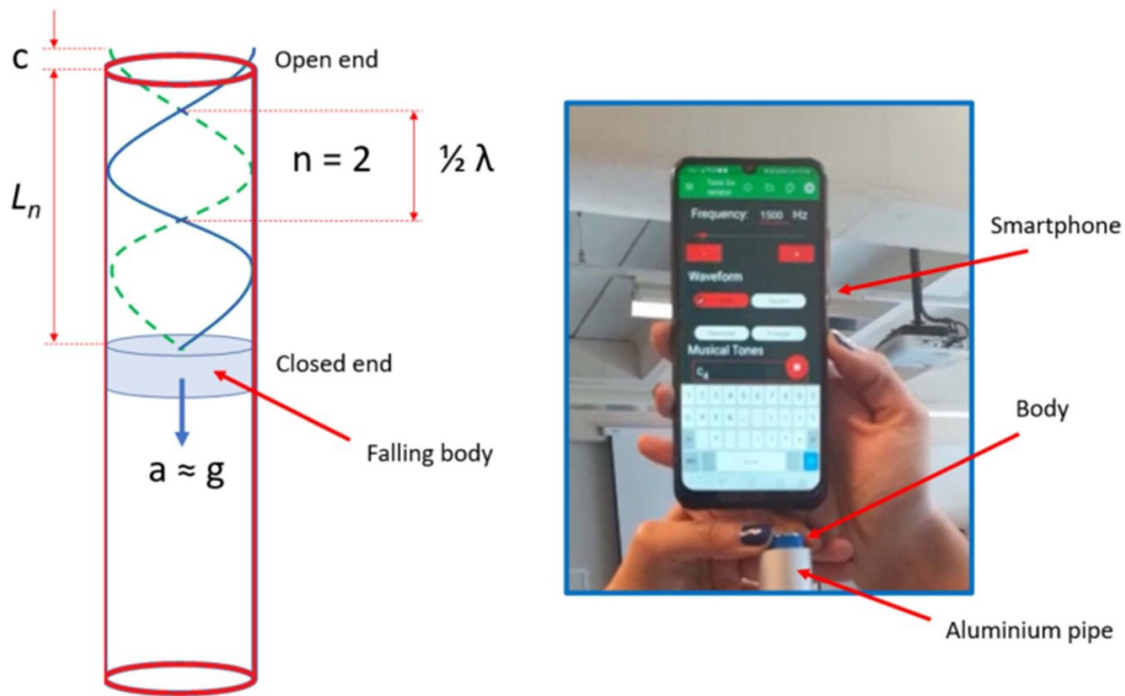


Figure 1. Schematic representation of the aluminium pipe, the body, and the standing wave on the left-hand side and a photo of the experimental setup on the right-hand side.

2. Experimental setup and physics model

Figure 1 shows the experimental setup used for the experiment. On the right-hand side of the figure the mobile phone, the body and the aluminium pipe are shown. The body diameter closely fits the inner diameter of the pipe but such that a fine air layer still exists between the pipe and the body.

The length of the pipe is 1.524 m and its inner diameter 0.0210 m. The diameter of the body is 0.0197 m and its height 0.058 m. A schematic representation of the pipe with a standing wave produced as the body falls is represented on the right hand side of the figure.

The smartphone is used here with a double purpose, that is, to generate the single-frequency sine sound wave and to record the standing sound wave produced between the open end and a closed end, consisting of the upper end of the moving body through the pipe. For the single-tone sound wave generation, the free Android app. Physics Toolbox Suit (Vieyra Software, 2022) has been used (shown on the screen of the mobile in figure 1). When the body falls in the vertical pipe, sound amplitude variations are produced. These variations are registered by recording the sound with the Voice Recorder app., commonly incorporated in the smartphones bearing Android.

The described system can be modelled by an open-end air column for which resonances take place according to the following expression:

$$L_n + c = \frac{\lambda_n(2n+1)}{4}; \text{ with } n = 0,1,2,3,\dots \quad (1)$$

Every time the falling body reaches a resonant length, L_n , that is, a length that equals an odd multiple of $\frac{\lambda_n}{4}$, a resonance is achieved (i.e. a standing wave is produced and the sound intensity reaches a maximum). Here c is an end correction and λ is the wavelength of the sound wave.

3. Results and discussion

The resonances are detected in our experiment by the microphone and registered with the Voice Recorder application. For the best results it is recommended that the room remains silent during the experiments. Figure 2 shows the amplitude of the sound wave as plotted versus time. This information is contained in the recorded '.wav' file. It can be noticed that the resonances are well defined along the curve.

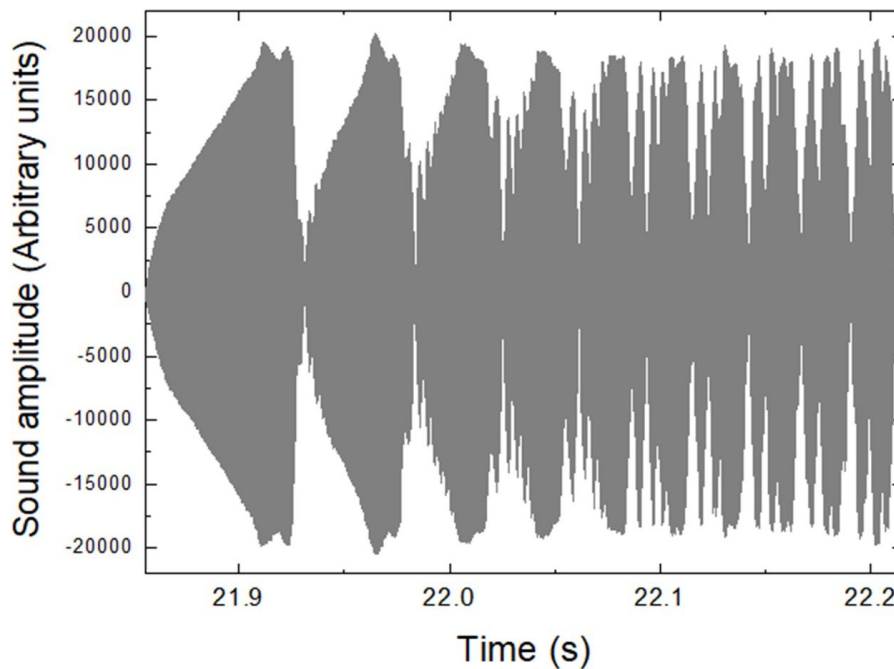


Figure 2. Audio recorded with the smartphone as the body was falling inside the pipe. The graph represents the amplitude of the sound versus time.

n	t_n (s)	$\Delta t_n = (t_n - t_0)$ (s)
0	21.8567	0.0000
1	21.9315	0.0748
2	21.9837	0.1270
3	22.0254	0.1687
4	22.0615	0.2048
5	22.0937	0.2370
6	22.1179	0.2612

Table 1. The first column shows the consecutive values of n in equation (1), the second the corresponding time elapsed and, the third, the time elapsed relative to the time for $n = 0$ taken as reference.

Taking $n = 0$ as the reference position, the following expression is obtained,

$$L_n - L_0 = \frac{\lambda(2n+1)}{4} - \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}n \quad (2)$$

The falling body in the aluminium pipe follows a uniformly accelerated linear motion. Thus, the following expression $L_n - L_0 = v_0(t_n - t_0) + g(t_n - t_0)^2/2 = v_0\Delta t_n + g(\Delta t_n)^2/2$ can be substituted in equation (2) to obtain,

$$\frac{\lambda}{2}n = v_0\Delta t_n + g(\Delta t_n)^2/2 \quad (3)$$

Taking n apart in equation (3),

$$n = \frac{2v_0}{\lambda} \Delta t_n + \frac{g}{\lambda} (\Delta t_n)^2 \quad (4)$$

where g is the gravitational acceleration.

Equation (4) represents a second order polynomial of n versus Δt_n which can be expressed as follows,

$$n = a + b \Delta t_n + c (\Delta t_n)^2 \quad (5)$$

where $a = 0, b = \frac{2v_0}{\lambda}$ and $c = \frac{g}{\lambda}$ are constant and can be obtained from a non-linear fitting to the experimental data.

The values of t_n and $\Delta t_n = (t_n - t_0)$ are included in table 1 as a function of the consecutive values of n in equation (1). Figure 3 shows an Excel plot of the time elapsed from the moment a node taken as reference ($n = 0$) is produced to the moments when each of the consecutive nodes are produced (Δt_n) versus $n = 1, 2, 3, 4$. The last 6 nodes out of 16 nodes that originated in the pipe have been used. The parameters resulting from the non-linear fitting of equation (5) to the experimental data are $a = 0.020$, $b = 8.640 \text{ s}^{-1}$ and $c = 53.495 \text{ s}^{-2}$. The coefficient of determination of $R^2 = 0.9995$ indicates the good quality of the fitting. The fitting has been carried out using the 'Add Trendline' option implemented in Excel.

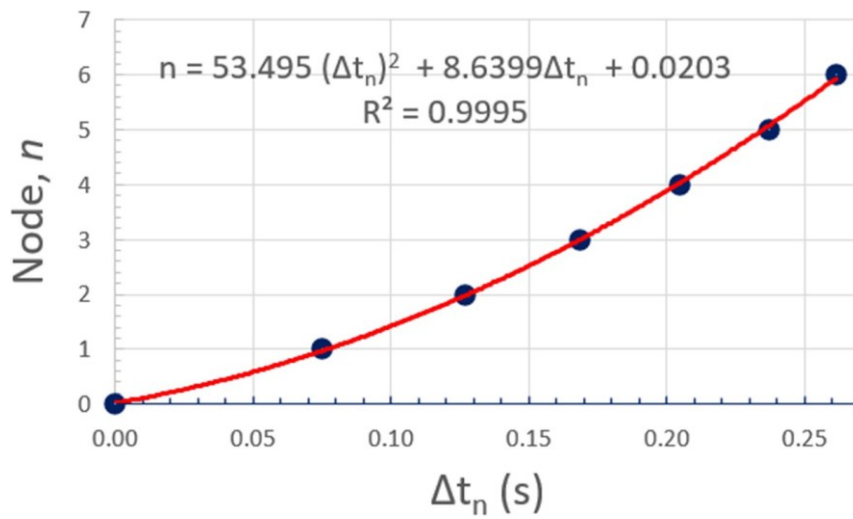


Figure 3. Time elapsed from a node taken as reference to each of the consecutive nodes. The blue dots represent the experimental data and the red line the non-linear fit.

From the parameter $c = \frac{g}{\lambda}$ and substituting $\lambda = v/f$, where v is the speed of sound in air and f its frequency, the gravitational acceleration can be determined as follows,

$$g = \frac{cv}{f} \quad (6)$$

The frequency chosen for this experiment was $f = 1900 \text{ Hz}$. The speed of sound at the temperature of the experiments (24°C) was 345.48 m/s (National Weather Service, 2023). The gravitational acceleration, calculated according to equation (6) is $g = 9.7 \text{ m/s}^2$. The comparison with the reported standard value for the gravitational constant (Hirt, 2013), 9.801 m/s^2 yields a percentage difference lower than 1% which is a good indicator of the quality of the experiment.

4. Conclusions

This paper shows a simple experimental setup to determine the gravitational constant by combining concepts of kinematics and acoustics. Our value $g = 9.7 \text{ m/s}^2$ underestimates the reported value as neither the air resistance nor the correction to the speed of sound inside the pipe were considered. The air resistance depends on the size of the gap between the falling body and the inner side of the tube, and the speed of sound is known to change when the sound wave becomes a guided wave in a tube. Another influencing factor is the bandwidth of the frequency as generated by the device. The experiments also show that the microphone, and the speaker can be effectively used simultaneously to describe an acoustic phenomenon.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Instituto de Ciencias de la Educación (Institute of Education Sciences) at the Universitat Politècnica de València (UPV) for its support to the teaching innovation group MSEL.

References

- [Barreiro, 2014] Barreiro, J. J., Pons, A., Barreiro, J. C., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2014). Diffraction by electronic components of everyday use. *American Journal of Physics*, **82**, 257–261.
- [Castro-Palacio, 2013b] Castro-Palacio, J. C., Velazquez-Abad, L., Giménez, M. H., & Monsoriu, J. A. (2013). Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations. *American Journal of Physics*, **81**, 472–475.
- [Giménez, 2017b] Giménez, M. H., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2017). Direct visualization of mechanical beats by means of an oscillating smartphone. *Physics Teacher*, **55**, 424–425.
- [Gómez-Tejedor, 2014] Gómez-Tejedor, J. A., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2014). The acoustic Doppler effect applied to the study of linear motions. *European Journal of Physics*, **35**, 025006.
- [Hellesund, 2019] Hellesund, S. (2019). Measuring the speed of sound in air using a smartphone and a cardboard tube. *Physics Education*, **54**, 035015.
- [Hirt, 2013] Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. (2013). New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field. *Geophysical Research Letters*, **40**, 4279–4283.

- [Kasper, 2015] Kasper, L., Vogt, P., & Strohmeyer, C. (2015). Stationary waves in tubes and the speed of sound. *Physics Teacher*, **53**, 52–53.
- [Kuhn, 2013a] Kuhn, J., & Vogt, P. (2013). Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices. *European Journal of Physics Education*, **4**, 47–58.
- [Kuhn, 2013b] Kuhn, J., & Vogt, P. (2013). Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone. *Physics Teacher*, **51**, 118–119.
- [Kuhn, 2014] Kuhn, J., Vogt, P., & Hirth, M. (2014). Analyzing the acoustic beat with mobile devices. *Physics Teacher*, **52**, 248–249.
- [Monteiro, 2022] Monteiro, M., & Martí, A. C. (2022). Resource letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching. *American Journal of Physics*, **90**, 328–343.
- [Niu, 2022] Niu, Z. J., & Luo, D. (2022). Measurement of the velocity of sound through resonance in air columns as a homemade experiment. *Physics Teacher*, **60**, 114–116.
- [Pili, 2020] Pili, U. B. (2020). Sound-based measurement of g using a door alarm and a smartphone: Listening to the simple pendulum. *Physics Education*, **55**, 033001.
- [Pili, 2021] Pili, U. B. (2021). Newton's cradle: Using a smartphone sound sensor to extract g from the sound of impacts. *Physics Education*, **56**, 043005.
- [Salinas, 2018b] Salinas, I., Giménez, M. H., Monsoriu, J. A., & Castro-Palacio, J. C. (2018). Characterization of linear light sources with the smartphone's ambient light sensor. *Physics Teacher*, **56**, 562–563.
- [Salinas, 2020] Salinas, I., Monteiro, M., Martí, A. C., & Monsoriu, J. A. (2020). Analyzing the dynamics of a yo-yo using a smartphone gyroscope sensor. *Physics Teacher*, **58**, 569–571.
- [Vieyra Software, 2022] Vieyra Software. (2022). Physics Toolbox Sensors Suite. www.vieyrasoftware.net/physics-toolbox-sensor-suite (Accessed September 2022).
- [Vogt, 2011] Vogt, P., & Kuhn, J. (2011). Experiments using cell phones in physics classroom education: The computer-aided g determination. *Physics Teacher*, **49**, 383–384.
- [National Weather Service, 2023] National Weather Service. (2023). Speed of sound calculator. www.weather.gov/epz/wxcalc_speedofsound (Retrieved February 2023).

2.3 Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control.

IOPscience



Journals ▼

Books

Publishing Support

Login ▼

Physics Education

PAPER

Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control

Camila F Marín-Sepúlveda¹ , Santiago Ortuño-Molina¹ , Juan C Castro-Palacio¹ and Juan A Monsoriu^{2,1}

Published 10 April 2024 • © 2024 IOP Publishing Ltd

[Physics Education](#), Volume 59, Number 3

Citation Camila F Marín-Sepúlveda *et al* 2024 *Phys. Educ.* **59** 035016

DOI 10.1088/1361-6552/ad37e7

[References](#) ▼

▼ [Article and author information](#)

Abstract

In this work, the inverse-square law has been tested for the electromagnetic radiation in the infrared range. As a point-source, a TV remote control has been used. The intensities registered by a solar cell plugged to a speaker have been measured acoustically by recording the sound produced by the infrared pulses. The recorded audio is edited to find the intensities for different distances between the remote control and the solar cell. The results were fitted with a parametric function of the intensity inversely proportional to the distance square. A very good agreement was achieved.

Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control.

Camila F. Marín-Sepúlveda¹, Santiago Ortuño-Molina¹,
Juan C. Castro-Palacio¹ and Juan A Monsoriu¹

¹ *Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 València, Spain.*

Abstract

In this work, the inverse-square law has been tested for the electromagnetic radiation in the infrared range. As a point-source, a TV remote control has been used. The intensities registered by a solar cell plugged to a speaker have been measured acoustically by recording the sound produced by the infrared pulses. The recorded audio is edited to find the intensities for different distances between the remote control and the solar cell. The results were fitted with a parametric function of the intensity inversely proportional to the distance square. A very good agreement was achieved.

Keywords: acoustics, remote control, infrared, inverse-square law, smartphone.

1. Introduction

The inverse-square law can be found in many contexts of Physics (Resnick, 1999; Gatzia, 2021; Williams, 1971). The decrease of a physical quantity with the inverse-square distance can be seen in gravitation, electrostatics, electromagnetic radiation, and sound waves. This has to do with the geometrical decrease in intensity of the emission of a point-source radiation as it spreads spherically in three-dimensional space. In (Sans, 2017), the efficiency of point light sources is characterized by using the smartphone's ambient sensor. The variation of the illuminance measured with the sensor with the inverse square distance to the source was tested experimentally. The inverse square law of distance was also used to study the speed and acceleration of a moving light source on an inclined plane (Kapucu, 2017) or to study coupled and damped oscillations (Sans, 2013).

In this work, we bring up another interesting, simple and low-cost experiment to test the inverse square law for the electromagnetic radiation in the infrared range. We have used a remote control as a point source and measured its infrared signal with a small solar cell connected to a speaker.

Then, the intensity of the signal is registered with the voice recorder of a smartphone for different distances.

2. Experimental setup and physics model

Figure 1 shows the experimental setup used in this work and the different components it includes. We used a simple remote control that we can be found at any home. In this case, it consisted of the remote control of a SAMSUNG TV LED 75. The infrared frequency of this type of devices is typically 300 THz. When the power button is pressed, three infrared pulses are emitted (Figure 2). The intensity of the signal has been collected with an audio recorded with the smartphone. The digital audio is then edited to determine the intensity of the signal. We assume that it remains unchanged during its path across the infrared-to-electric-to-audio signal transduction. The infrared signal was registered with a low-cost solar cell which are known to have a very good response in the infrared range of the electromagnetic spectrum.

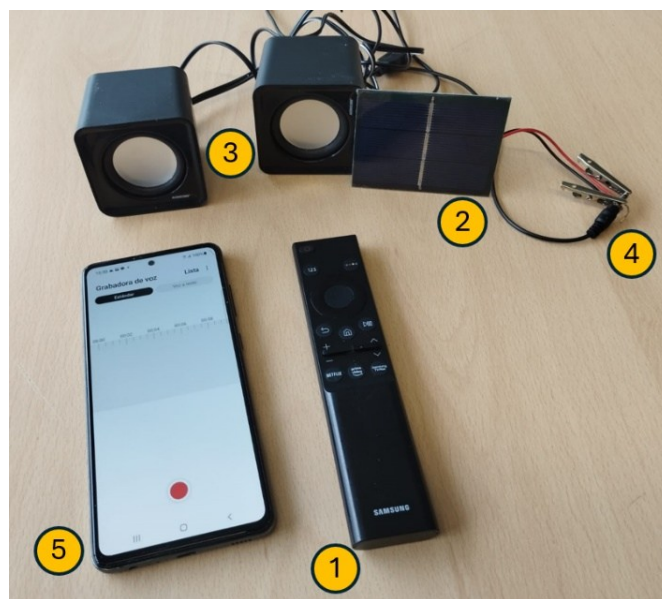


Figure 1. Experimental setup used in this work. The picture includes a remote control (1), a solar cell (2), speakers (3), an audio jack connected to the ends of the solar cell using crocodile clips (4), and a smartphone (5).

3. Results and discussion

Figure 2 (upper panel) shows the edited view of the digital audio file recorded with the smartphone for different distances between the remote control and the solar cell which are indicated with labels in the figure. The decay of the amplitude can be clearly seen. For each distance, the power button has been pressed twice what allows us to include more data in the calculation of the average intensities (shown in Figure 3). Figure 2 (lower panel) shows the three pulses emitted when the power button of the remote control is pressed once. It should be pointed out that the frequency composition of the shown curves (lower panel) are not the frequencies of the original infrared pulses as the sound undergoes an analog-to-digital conversion and an audio encoding once captured by the

microphone of the smartphone. However, the amplitude of the signal can be considered linearly proportional to the intensity of the initial infrared signal.

The remote control can be considered as a point-source of infrared radiation whose intensity decreases with the inverse-square of the distance as the energy redistributes in spherical wave fronts in the three-dimensional space.

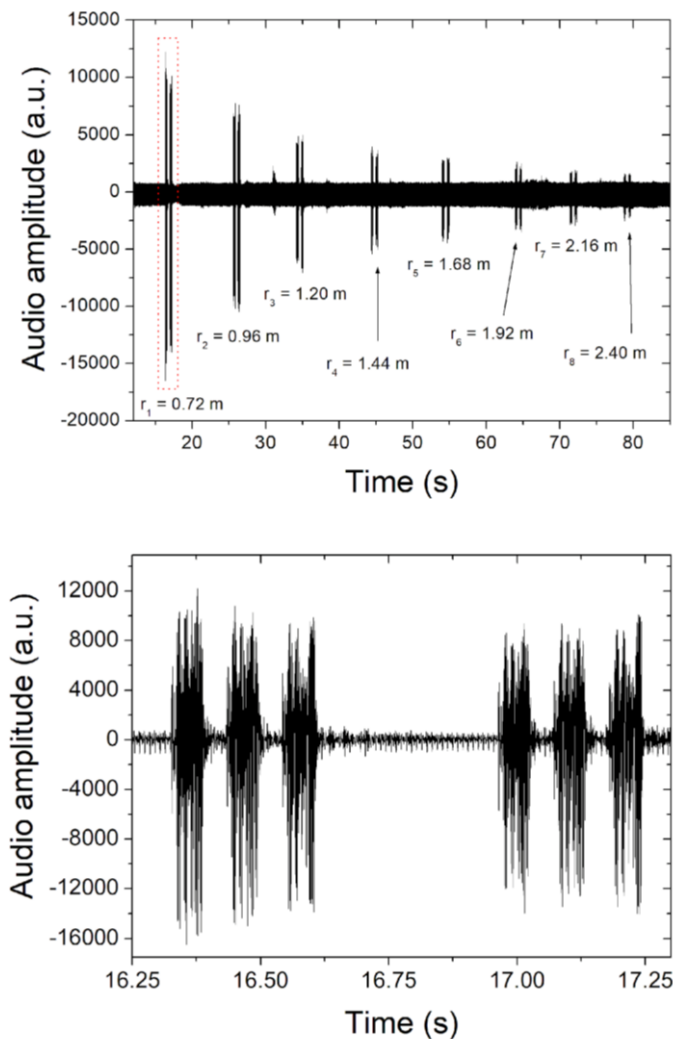


Figure 2. Edited version of the audio file containing the sound produced by the infrared signal incident on the solar cell. The maxima of audio amplitude proportional to the infrared intensities at different distances between the remote control and the solar cell are indicated with labels in the upper panel. The region enclosed in a dotted rectangle in the upper panel has been zoomed in in the lower panel. Six pulses are observed in the lower panel as the power button was pressed twice.

The average values of the maximum intensities shown in Figure 2 (upper panel) for each distance have been plotted in figure 3 along with a fit curve of a function of the intensity

versus the inverse of intensity in arbitrary units and r the distance between the remote control and the solar cell. The the distance square. The function used to do the fitting is $I = \frac{A}{r^2} + B$, where I is the infrared signal fitting yields the following values for the parameters: $A = 4466 (40)$ a.u., and $B = 773 (34)$ a.u. The resulting coefficient of determination of the fitting is very good (0.9995).

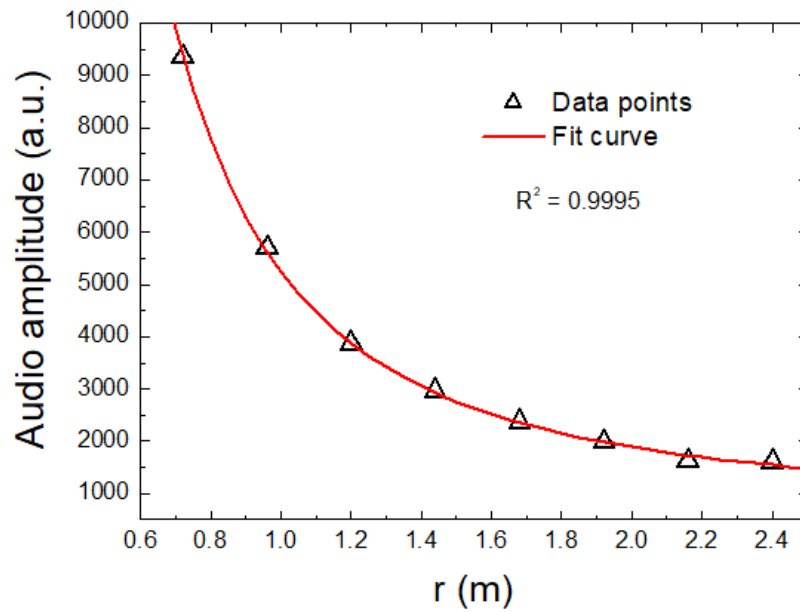


Figure 3. Data points of the sound amplitude (proportional to the infrared signal intensity) versus the distance between the remote control and the solar cell. The fit curve to the experimental data is indicated with a red line.

4. Conclusions

The inverse-square law has been tested using a simple experimental setup based on the infrared signal of a TV remote control which can be found at any home and a low-cost solar cell. The remote control was assumed as a point-source that emits spherical wave fronts. Therefore, the intensity distribution decreases with the inverse of the squared distance from the point source. The corresponding intensities for different distances between the remote control and a solar cell were registered acoustically by recording the sound produced by the incident infrared pulses on the solar cell. The results were successfully fitted with a parametric function of the intensity inversely proportional to the squared distance.

References

- [Gatzia, 2021] Gatzia, D., & Ramsier, R. D. (2021). Dimensionality, symmetry and the inverse square law. *Notes and Records*, **75**, 333–347.
- [Kapucu, 2017] Kapucu, S. (2017). Finding the acceleration and speed of a light-emitting object on an inclined plane with a smartphone light sensor. *Physics Education*, **52**, 055003.
- [Resnick, 1999] Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1999). *Physics* (4th ed.). CECSA.
- [Sans, 2013] Sans, J. A., Manjón, F. J., Pereira, A. L. J., Gomez-Tejedor, J. A., & Monsoriu, J. A. (2013). Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor. *European Journal of Physics*, **34**, 1349–1355.
- [Sans, 2017] Sans, J. A., Gea-Pinal, J., Gimenez, M. H., Esteve, A. R., Solbes, J., & Monsoriu, J. A. (2017). Determining the efficiency of optical sources using a smartphone's ambient light sensor. *European Journal of Physics*, **38**, 025301.
- [Williams, 1971] Williams, E. R., Faller, J. E., & Hill, H. A. (1971). New experimental test of Coulomb's law: A laboratory upper limit on the photon rest mass. *Physical Review Letters*, **26**, 721.

Capítulo 3

Discusión general de los resultados

Anteriormente se ha indicado que el objetivo fundamental de esta tesis es proponer experiencias de laboratorio para el estudio de la física acústica, utilizando los sensores de los *smartphones*. A continuación, se resumen brevemente los principales resultados presentados en los capítulos anteriores.

3.1 Aportaciones realizadas

En la introducción, se ha presentado una serie de antecedentes que pretende situar esta tesis en el contexto digital actual en relación con la enseñanza, donde el uso de las tecnologías de la información es cada vez más extendido y necesario. Se expone que en el área educativa esto también repercute, y más concretamente en el estudio de la física, donde la experimentación es clave para lograr de mejor forma el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes.

Es así como surge la posibilidad de utilizar los *smartphones* dentro de las prácticas de laboratorio de física, para motivar al alumnado a usar este familiar, cómodo y cotidiano dispositivo como un instrumento de medición y recolección de datos y aportar al aprendizaje práctico de experiencias físicas, de las cuales se entiende que se han trabajado con anterioridad de forma teórica en el aula.

Luego se procede a detallar el diseño de las experiencias, en este caso enfocadas al estudio de la física acústica, para detallarlas posteriormente en el Capítulo 2, donde se realiza el recopilado de los artículos publicados.

En relación con los sensores del smartphone utilizados en esta tesis se encuentran:

- Uso de altavoz para generar ondas y así estudiar la propagación del sonido de una manera controlada y calcular la velocidad terminal de un cuerpo que cae por un tubo de aluminio (artículo 1), y para rastrear el movimiento de un cuerpo como lo hace el ‘sonar’ de un submarino (artículo 2).
- Micrófono para detectar los nodos de resonancia de la columna de aire (artículo 1) y para registrar, mediante la grabadora de voz, el sonido producido por los pulsos infrarrojos que inciden en una célula solar conectada a un altavoz, permitiendo la medición de la intensidad de la señal y el estudio de la ley del inverso de la distancia al cuadrado para la radiación electromagnética en el rango infrarrojo (artículo 3).

Finalmente, los resultados de esta tesis se han utilizado como base para proponer un aporte didáctico práctico consistente en guiones de laboratorio para el uso de profesorado en aula. Este material es adaptable por el profesor a la etapa educativa donde se esté impartiendo la actividad de laboratorio y permite ir guiando al estudiante

a través de la experiencia experimental para que logre obtener los resultados esperados y sus conclusiones. Cabe destacar además que este tipo de prácticas permite mejorar el acceso a las tecnologías como lo indica la reciente ley educativa y acercar la ciencia a las zonas menos favorecidas económicamente debido a su bajo costo y facilidad de implementación.

3.2 Evaluación de los resultados

Resulta importante destacar que esta línea de investigación se ha iniciado en 2013, con diferentes aportaciones de prácticas experimentales de la física utilizando distintos sensores de un *smartphone* como instrumento de medición y captación de datos.

Uno de los principales resultados alcanzados es la propia elaboración de esta tesis doctoral y la publicación de dichos artículos en revistas de gran prestigio internacional en el área de Educación, como *The Physics Teacher* y la revista *Physics Education*.

Por otro lado, la aportación de guías de laboratorio adaptables a cada etapa educativa y un cuestionario de retroalimentación inmediato de los alumnos, lo que permite corroborar su satisfacción con este tipo de herramientas y si logran visualizar un aumento en su motivación o mejora en su aprendizaje.

Además de los artículos publicados, las diferentes experiencias desarrolladas con los *smartphones* han sido evaluadas y presentadas en diversos congresos de innovación educativa, tales como el Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET) en sus ediciones de Valencia el 2021 y de Girona el 2024, así como en la “XXXVIII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física, celebrada en Murcia en el 2022. Además de otras participaciones como en las Jornadas Hacia una Nueva Cultura Científica celebrada en la Universidad Politécnica de Valencia el 2022.

Capítulo 4

Conclusiones

En el presente capítulo se exponen las conclusiones alcanzadas durante este trabajo. Se analiza si los objetivos planteados inicialmente para la investigación han sido alcanzados, recopilando además las principales aportaciones generadas de este trabajo y los alcances para futuras investigaciones de campo.

El objetivo fundamental de esta tesis ha sido *“proponer nuevas experiencias de laboratorio para el estudio de la Física General en temas de acústica, para su uso en Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y primer curso de grados de ingeniería utilizando los sensores disponibles en los smartphones como instrumentos de medición”* ha sido alcanzado tras diseñar, elaborar, redactar y publicar tres artículos que estudian la física acústica gracias al uso de sensores presentes en los teléfonos inteligentes.

Además, en cuanto a los objetivos específicos, se han realizado aportaciones de revisión bibliográfica sobre la línea de investigación que sostienen la importancia del estudio de la física mediante actividades que incentiven el aprendizaje significativo y que permita desarrollar la competencia digital. Por otro lado, se han generado aportes didácticos prácticos, mediante propuestas de guías de laboratorio fácilmente adaptables a cada etapa educativa, comprobando además que utilizar los sensores de un *smartphone* durante éstas constituyen una herramienta sencilla, motivadora y de bajo coste, al alcance de los alumnos y profesores. En particular, se ha comprobado el objetivo de investigar particularmente el uso del altavoz y micrófono como sensores, para generar y detectar las ondas del sonido, respectivamente.

Se ha utilizado la resonancia de las ondas sonoras en una columna de aire para estudiar la velocidad terminal de un imán que cae en el interior de un tubo de aluminio (no ferromagnético), permitiendo comprobar que los sensores de micrófono y altavoces del *smartphone* son adecuados para realizar este experimento para cursos introductorios de este fenómeno de acústica.

En términos de teoría, la experiencia vertida en el artículo 1 permitió comparar con diferencia porcentual de 1,14% entre la velocidad calculada y utilizando un método alternativo, lo que confirma el hecho de que la velocidad terminal se alcanza muy pronto después que el imán comienza su movimiento dentro del tubo. De esta manera, se valida además la utilización de la experiencia presentada como práctica de laboratorio para los primeros cursos de física en el nivel universitario, de igual manera que han sido utilizados otros trabajos publicados sobre otros temas.

En la segunda investigación se utilizó la resonancia de las ondas generadas dentro de una columna de aire para obtener la aceleración de la gravedad (g) de un cuerpo que cae en el interior de un tubo de aluminio (no ferromagnético). Comprobando que los sensores de micrófono y altavoces del *smartphone* son adecuados para realizar este experimento de física para cursos introductorios de este fenómeno de acústica.

Además, desde el punto de vista teórico, permitió comparar con diferencia porcentual de 1%, de la aceleración gravitacional calculada con la teórica, confirmando el hecho de que es posible determinar esta magnitud combinando conceptos cinéticos y acústicos. Así mismo, permitió validar la utilización de la experiencia presentada en este artículo como práctica de laboratorio para los primeros cursos de física en el nivel universitario, de igual manera que han sido utilizados otros trabajos publicados sobre otros temas.

La tercera investigación permitió comprobar experimentalmente la ley del inverso del cuadrado de la distancia para la radiación electromagnética en el rango infrarrojo. Como fuente puntual se ha utilizado un mando a distancia de televisión. Las intensidades se han registrado con una celda solar conectada a un altavoz y se han medido acústicamente utilizando la grabadora de sonido de un smartphone. El audio grabado se ha editado para hallar las intensidades para distintas distancias entre el mando a distancia y la célula solar. Los resultados se ajustaron con una función paramétrica de la intensidad inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Los resultados indican que es posible acercar la física al entorno cotidiano de los alumnos, no solo con el uso del teléfono inteligente, si no también utilizando el mando a distancia como fuente puntual de radiación infrarroja. Además, cabe destacar que el montaje experimental es muy simple, lo que permite su implementación en cualquier curso de física desde la enseñanza secundaria a la universitaria.

En general, este trabajo es una contribución más hacia el desarrollo de innovaciones docentes relacionadas con el laboratorio de física para los niveles de Secundaria, Bachillerato y primeros años de universidad. Son experimentos de muy bajo coste porque la gran mayoría de los alumnos tienen un teléfono inteligente. Por otro lado, se debe destacar que se gana no solo en motivación y entendimiento de los conceptos por parte del alumnado, también se cuenta con prácticas de laboratorio portables y que se pueden realizar perfectamente desde casa integradas al entorno cotidiano de los alumnos.

Bibliografía General

[AAPT., 2024] AAPT: American Association of Physics Teachers. (2024). *The Physics Teacher - About*. <https://pubs.aip.org/aapt/pte/pages/about>

[Arribas, 2015] Arribas Garde, E., Escobar García, I., Suárez Rodríguez, C. d. P., Nájera López, A., & Beléndez Vázquez, A. (2015). Medida del campo magnético de imanes pequeños con un smartphone: Una práctica de laboratorio muy económica. En *Experiencias de innovación docente en la enseñanza de la Física Universitaria* 4, 209-222. Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/48866/1/Capítulo12%20AB-2015.pdf>

[Barreiro, 2014] Barreiro, J. J., Pons, A., Barreiro, J. C., Castro-Palacio, J. C., Monsoriu, J. A. (2014). Diffraction by electronic components of everyday use. *American Journal of Physics*, 82(3), 257–261. <https://doi.org/10.1119/1.4830043>

[Castro-Palacio, 2013a] Castro-Palacio, J.C., Velazquez-Abad, L., Gimenez, F. y Monsoriu, J.A. (2013). A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors. *European Journal of Physics Education* 34(3), 737–744. <http://doi.org/10.1088/0143-0807/34/3/737>

[Castro-Palacio, 2013b] Castro-Palacio, J. C., Velázquez-Abad, L., Giménez, M. H., Monsoriu, J. A. (2013). Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations. *American Journal of Physics*, 81(6), 472–475. <http://doi.org/10.1119/1.4793438>

[Castro-Palacio, 2014] Castro-Palacio, J. C., Velázquez-Abad, L., Gómez Tejedor, J. A., Manjón, F. J., & Monsoriu, J. A. (2014). Using a smartphone acceleration sensor to study uniform and uniformly accelerated circular motions. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(2), 1–5. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000200015>

[Colás Bravo y De Pablos Pons, 2012] Colás Bravo, M. P. y De Pablos Pons, J. (2012). Aplicaciones de las tecnologías de la información y la comunicación en la investigación cualitativa. *Revista Española de Pedagogía*, 70(251), 77-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3803557>

[Deuze, 2006] Deuze, M. (2006). Participation Remediation Bricolage - Considering Principal Components of a Digital Culture. *The Information Society*, 22, 63-75. <https://doi.org/10.1080/01972240600567170>

[Gatzia, 2021] Gatzia, D., & Ramsier, R. D. (2021). Dimensionality, symmetry and the inverse square law. *Notes and Records*, 75, 333–347. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2019.0044>

- [Giménez, 2017a] Giménez, M.H.(2017). *Aplicaciones de los Sensores de los smartphones a la Didáctica de la Física Experimental* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. Repositorio UPV. <https://riunet.upv.es/entities/publication/52e3269f-35a4-4cee-9489-bcd03802a39e>
- [Giménez, 2017b] Giménez, M. H., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2017). Direct visualization of mechanical beats by means of an oscillating smartphone. *Physics Teacher*, 55, 424–425. <https://arxiv.org/abs/1605.01291>
- [Gómez-Tejedor, 2014] Gómez-Tejedor, J. A., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2014). The acoustic Doppler effect applied to the study of linear motions. *European Journal of Physics*, 35 (2), <https://doi.org/10.1088/0143-0807/35/2/025006>
- [Goodwin, 2012] Goodwin, K. (2012). Use of Tablet Technology in the Classroom. *Strathfield, New South Wales: NSW Curriculum and Learning Innovation Centre*. https://cpb-ap-se2.wpmucdn.com/global2.vic.edu.au/dist/1/42368/files/2014/04/iPad_Evaluation_Sydney_Region_exec_sum-1pjdj70.pdf
- [Hellesund, 2019] Hellesund, S. (2019). Measuring the speed of sound in air using a smartphone and a cardboard tube. *Physics Education*, 54(3), <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab0e21>
- [Hirt, 2013] Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. (2013). New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field. *Geophysical Research Letters*, 40(16), <https://doi.org/10.1002/grl.50838>
- [Instituto Nacional de Estadística, 2022] Instituto Nacional de Estadística. (2022). *Tecnologías de la información y la comunicación en los hogares y en la población: 2022*. https://ine.es/prensa/tich_2022.pdf
- [Kapucu, 2017] Kapucu, S. (2017). Finding the acceleration and speed of a light-emitting object on an inclined plane with a smartphone light sensor. *Physics Education*, 52(5), <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa7914>
- [Kasper, 2015] Kasper, L., Vogt, P., & Strohmeyer, C. (2015). Stationary waves in tubes and the speed of sound. *Physics Teacher*, 53(1), <https://doi.org/10.1119/1.4904249>
- [Kuhn 2012] Kuhn, J. y Vogt, P.(2012). Diffraction experiments with infrared remote controls. *The Physics Teacher* 50(2). <https://doi.org/10.1119/1.3677292>
- [Kuhn, 2013a] Kuhn, J., & Vogt, P. (2013). Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices. *European Journal of Physics Education*, 4(1),

https://www.researchgate.net/publication/298645140_Smartphones_as_experimental_tools_Different_methods_to_determine_the_gravitational_acceleration_in_classroom_physics_by_using_everyday_devices

[Kuhn, 2013b] Kuhn, J., & Vogt, P. (2013). Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone. *Physics Teacher*, 51(2). <https://doi.org/10.1119/1.4775539>

[Kuhn, 2014] Kuhn, J., Vogt, P., & Hirth, M. (2014). Analyzing the acoustic beat with mobile devices. *Physics Teacher*, 52(4), 248–249. <https://doi.org/10.1119/1.4868948>

[Marín-Sepúlveda, 2022a] Marín-Sepúlveda, C. F., Torriente-García, I., Salinas, I., Cuenca-Gotor, V. P., Giménez, M. H., Sans, J. A., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2022). Un laboratorio de ciencias en tu bolsillo. *En libro de actas: Jornadas Hacia una Nueva Cultura Científica. Valencia, 26-27 de septiembre de 2022*. <https://doi.org/10.4995/NCC2022.2022.15880>

[Marín- Sepúlveda, 2022b] Marín Sepúlveda, C. F., Castro-Palacio, J. C., Salinas, I., & Monsoriu, J. A. (2022). Acoustic characterization of magnetic braking with a smartphone. *The Physics Teacher*, 60, 706–707. <https://doi.org/10.1119/5.0097792>

[Marín Sepúlveda, 2023] Marín Sepúlveda, C. F., & Castro-Palacio, J. C. (2023). Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone as a ‘sonar’. *Physics Education*, 58. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/acbaf6>

[Marín Sepúlveda, 2024] Marín-Sepúlveda, C.F., Ortuño-Molina, S., Castro-Palacio, J.C., and Monsoriu, J.A. (2024). Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control. *Physics Education*, 59(3). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad37e7>

[Ministerio de Educación, 2022a] Ministerio de Educación. (2022). *Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria*. BOE, 22 de marzo de 2022, núm. 52. BOE-A-2022-3296 Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>

[Ministerio de Educación, 2022b] Ministerio de Educación. (2022). *Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato*. BOE, 5 de abril de 2022, núm. 82. BOE-A-2022-5521 Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5521>

[Monteiro, 2022] Monteiro, M., & Martí, A. C. (2022). Resource letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching. *American Journal of Physics*, 90(5), 328–343. <https://doi.org/10.1119/5.0073317>

[Monteiro, 2014c] Monteiro, M., Cabeza, C. y Martí, A.C. (2014). Exploring phase space using smartphone acceleration and rotation sensors simultaneously. *European Journal of Physics Education*, 35(4), <https://doi.org/10.1088/0143-0807/35/4/045013>

[National Weather Service, 2023] National Weather Service. (February 2023). Speed of sound calculator. www.weather.gov/epz/wxcalc_speedofsound

[Niu, 2022] Niu, Z. J., & Luo, D. (2022). Measurement of the velocity of sound through resonance in air columns as a homemade experiment. *Physics Teacher*, 60(2), 114–116. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8301073>

[Pérez Tornero, 2005] Pérez Tornero, J. M. (2005). El futuro de la sociedad digital. *Revista de Estudios de Comunicación*, 1. <https://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/1235/b15279728.pdf?sequence=1>

[Pili, 2020] Pili, U. B. (2020). Sound-based measurement of g using a door alarm and a smartphone: Listening to the simple pendulum. *Physics Education*, 55(3). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab6e00>

[Pili, 2021] Pili, U. B. (2021). Newton's cradle: Using a smartphone sound sensor to extract g from the sound of impacts. *Physics Education*, 56(4). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abf5f1>

[Resnick, 1999] Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (1999). *Physics 1*. Compañía Editorial Continental. Cuarta edición. https://carlosivanrestrepo.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/08/fisica_1_-_resnick_4ta_edicion.pdf

[Resurchify, 2024] Resurchify. (15 de octubre de 2024). *Physics Education - Impact Factor (IF), Overall Ranking, Rating, h-index, Call For Paper, Publisher, ISSN, Scientific Journal Ranking (SJR), Abbreviation, other Important Details*. <https://www.resurchify.com/impact-of-journal/physics-education/19149>

[Salinas, 2018a] Salinas, I., Giménez, M. H., Monsoriu, J. A., & Castro-Palacio, J. C. (2018b). El smartphone como barómetro en experimentos de Física. En *Modelling in Science Education and Learning*, 11(1). <https://doi.org/10.4995/msel.2018.9021>

[Salinas, 2018b] Salinas, I., Giménez, M. H., Monsoriu, J. A., & Castro-Palacio, J. C. (2018c). Characterization of linear light sources with the smartphone's ambient light sensor. *The Physics Teacher*, 56(8), 562-563. <https://doi.org/10.1119/1.5064575>

[Salinas, 2019a] Salinas, I., Monteiro, M., Marti, A.C. y Monsoriu, J.A. (2019). Dynamics of a yoyo using a smartphone gyroscope sensor. *The Physics Teacher* 57(2), 340. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.01343>

[Salinas, 2019b] Salinas, I., Giménez, M.H., Monsoriu, J.A. y Sans, J.A. (2019). Demonstration of the parallel-axis theorem through the Smartphone. *The Physics Teacher*, 57(5), 220-221. <https://doi.org/10.1119/1.5098929>

[Salinas, 2020] Salinas, I., Monteiro, M., Martí, A. C., & Monsoriu, J. A. (2020). Analyzing the dynamics of a yo-yo using a smartphone gyroscope sensor. *Physics Teacher*, 58(8), 569–571. <https://doi.org/10.1119/10.0002379>

[Sans, 2013] Sans, J. A., Manjón, F. J., Pereira, A. L. J., Gómez-Tejedor, J. A., & Monsoriu, J. A. (2013). Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor. *European Journal of Physics*, 34(6), 1349–1355. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/34/6/1349>

[Sans, 2017] Sans, J. A., Gea-Pinal, J., Giménez, M. H., Esteve, A. R., Solbes, J., & Monsoriu, J. A. (2017). Determining the efficiency of optical sources using a smartphone's ambient light sensor. *European Journal of Physics*, 38(2), <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aa51a9>

[Séré, 2002] Séré, M.G. (2002). La enseñanza en el laboratorio: ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia?. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20, 357-368. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=280925>

[Silva, 2012] Silva, N. (2012). Magnetic field sensor. *The Physics Teacher*, 50(6), 372-373. <https://doi.org/10.1119/1.4745697>

[Streepey, 2013] Streepey, J.W. (2013). Using iPads to illustrate the impulse-momentum relationship. *The Physics Teacher*, 51(1), 54-55. <https://doi.org/10.1119/1.4772044>

[Tileston, 2003] Tileston, D. W. (2003). *What Every Teacher Should Know about Media and Technology*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press. https://www.corwin.com/books/what-every-teacher-shouldmedia-226206?srsId=AfmBOopWzbKpzazD8Rie9nO9V1QyqJU_iwD91PSos0h_wtRhYQTAoc0e

[Tuset-Sanchis, 2015] Tuset-Sanchis, L., Castro-Palacio, J.C., Gómez-Tejedor, J.A., Manjón, F.J. y Monsoriu, J.A. The study of two-dimensional oscillations using a smartphone acceleration sensor: example of Lissajous curves. *Physics Education* 50(5), 580-586. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/50/5/580>

[Vieyra Software, 2022] Vieyra Software. (September 2022). *Physics Toolbox Sensors Suite*. www.vieyrasoftware.net/physics-toolbox-sensor-suite

[Vogt, 2011] Vogt, P., & Kuhn, J. (2011). Experiments using cell phones in physics classroom education: The computer-aided g determination. *Physics Teacher*, 49(6), 383–384. <https://doi.org/10.1119/1.3628272>

[Wiederick, 1987] Wiederick, H. D., et al. (1987). Magnetic braking: Simple theory and experiment. *American Journal of Physics*, 55(6), 500–503. <https://doi.org/10.1119/1.15103>

[Williams, 1971] Williams, E. R., Faller, J. E., & Hill, H. A. (1971). New experimental test of Coulomb's law: A laboratory upper limit on the photon rest mass. *Physical Review Letters*, 26, 721. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.26.721>

Anexos

INSTRUCCIONES GENERALES

Cada práctica se realizará en grupos de trabajo de 3-4 personas. Una semana después de la realización de la actividad (como sugerencia), cada grupo debe entregar un **informe**, considerando la siguiente estructura general: título, resumen de menos de 200 palabras, introducción breve, modelo teórico, diseño experimental, resultados y discusión, conclusiones y bibliografía. Se debe tener en cuenta la importancia de explicar las ecuaciones fundamentales del modelo teórico de base para cada práctica e incorporar una imagen de vuestro montaje que indique los elementos fundamentales dentro del diseño experimental.

Una vez entregado, tendréis que responder de forma individual el siguiente **cuestionario** con la intención de conocer vuestra percepción tras realizar este proceso experimental. Consiste en ocho preguntas relacionadas con la implementación de smartphones en las prácticas de laboratorio y dos respecto al rol del docente y el alumno, finalizando con una pregunta abierta. De antemano gracias por vuestro apoyo y colaboración.

Marca con una X la respuesta de tu selección:

N°	Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indiferente	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	El uso de smartphones como instrumentos de medición y procesamiento de datos me motiva.					
2	Utilizar mi smartphone en los laboratorios de física me hace sentir más cómodo para ejecutar las tareas encomendadas.					
3	El uso del smartphone en las clases mejora el aprendizaje en esta asignatura.					
4	Utilizar un smartphone como instrumento y herramienta de laboratorio de física ayuda a reducir los costos de los experimentos.					
5	Se mejora el trabajo en equipo al utilizar nuestros smartphones en las actividades experimentales.					
6	Es muy costoso utilizar el smartphone como instrumento para realizar actividades experimentales en los laboratorios de física.					
7	El uso del smartphone en las actividades experimentales de física me permite estudiar y consultar dudas de los experimentos con mis compañeros desde casa.					
8	El uso del smartphone en las clases mejora el aprendizaje de los estudiantes de esta asignatura.					
9	Me preparo con antelación y reviso el material teórico antes de una práctica experimental.					
10	El docente me ha apoyado y facilitado el uso de la tecnología durante esta práctica experimental.					

Pregunta abierta: Describa según su criterio las ventajas y desventajas del uso de los smartphones como instrumentos y herramientas en los laboratorios de física.

PRÁCTICA 1: MOVIMIENTO

El frenado magnético es un efecto que se presenta al mover un imán o electroimán cerca de un metal no conductor, tal como aluminio o cobre. El resultado es que el movimiento del imán se ve frenado y esto se explica según la ley de inducción de Faraday-Henry-Lenz. Ésta indica que cuando el flujo del campo magnético a través de una superficie cambia con el tiempo, bien porque el campo magnético cambia, porque lo hace la superficie o la posición relativa de ambos, surge una fuerza electromotriz inducida.

En la siguiente práctica utilizaremos esta experiencia para simular un movimiento lineal uniforme (MRU), ya que cuando el imán cae experimenta una fuerza de frenado que se aproxima a la fuerza peso.

MATERIALES

- Tubo no ferromagnético (aluminio o cobre) con un mínimo de 1,5 m de longitud y 0.05 m de diámetro.
- Imán (considerar que el diámetro del imán debe ajustarse al diámetro interior del tubo).
- Smartphone con la App Physics Toolbox Suite

PROCEDIMIENTO

- Se debe mantener silencio durante la realización del experimento.
- Ubicar el tubo en posición vertical y preparar el imán que se dejará caer en el extremo superior.
- Generar una frecuencia única de 1900 Hz utilizando Physics Toolbox Suite y acercar el móvil a uno de los extremos del tubo.
- Grabar el sonido mientras el imán desciende por la tubería vertical con la aplicación Voice Recorder.
- Al mismo tiempo, con otro móvil, registrar el tiempo total de desplazamiento del imán durante el experimento.
- Generar un archivo “wav” para observar mediante una gráfica de la amplitud de la onda sonora en función del tiempo.
- Realizar un ajuste lineal con los últimos 10 nodos que se generan dentro del tubo en función de la variación del tiempo.
- A partir de la pendiente se puede calcular la velocidad del imán que cae.

- Repetir el procedimiento al menos siete veces.

RESULTADOS

- Generar una gráfica amplitud versus tiempo, donde se observen los nodos de la onda.
- Registrar los datos en la siguiente tabla de valores para cada nodo en función de la variación del tiempo:

n (nodos)	t_n (s)	Variación $t_n = t_n - t_0$ (s)

- Generar una gráfica que represente el ajuste lineal de los datos obtenidos. ¿Qué representa la pendiente del ajuste lineal?

CONCLUSIONES

- Realizar una comparación de los valores obtenidos con un método alternativo, utilizando el tiempo medio de desplazamiento del imán que has registrado con el cronómetro.
- Elaborar un resumen valorativo de forma crítica sobre las ventajas y desventajas del proceso experimental comparado con la teoría. Sugerir además mejoras o ampliaciones para esta experiencia.

REFERENCIAS

[Castro-Palacio, 2013] Castro-Palacio, J. C., Velazquez-Abad, L., Gimenez, M. H., & Monsoriu, J. A. (2013). Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations. *American Journal of Physics*, 81, 472–475.

[Giménez, 2017b] Giménez, M. H., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2017). Direct visualization of mechanical beats by means of an oscillating smartphone. *Physics Teacher*, 55, 424–425.

[Marín- Sepúlveda, 2022b] Marín Sepúlveda, C. F., Castro-Palacio, J. C., Salinas, I., & Monsoriu, J. A. (2022). Acoustic characterization of magnetic braking with a smartphone. *The Physics Teacher*, 60, 706–707. <https://doi.org/10.1119/5.0097792>

[Niu, 2022] Niu, Z. J., & Luo, D. (2022). Measurement of the velocity of sound through resonance in air columns as a homemade experiment. *Physics Teacher*, 60, 114–116.

[Wiederick, 1987] Wiederick, H. D., et al. (1987). Magnetic braking: Simple theory and experiment. *American Journal of Physics*, 55, 500–503.

PRÁCTICA 2: CONSTANTE GRAVITACIONAL

Para esta práctica es importante destacar la capacidad de los teléfonos inteligentes para generar y recibir las ondas sonoras que permiten seguir a un cuerpo en movimiento, tal como lo hace un «SONAR submarino». De esta forma, generando ondas sonoras con una frecuencia específica y detectando simultáneamente las resonancias de las ondas sonoras dentro de un tubo permite seguir el movimiento de un cuerpo en caída libre y calcular así su constante gravitacional.

MATERIALES

- Tubo no ferromagnético (aluminio o cobre) con un mínimo de 1,5 m de longitud y 0.05 m de diámetro.
- Imán (considerar que el diámetro del imán debe ajustarse al diámetro interior del tubo).
- Smartphone con la App Physics Toolbox Suite

PROCEDIMIENTO

- Se debe mantener silencio durante la realización del experimento.
- Ubicar el tubo en posición vertical y preparar el imán que se dejará caer en el extremo superior.
- Generar una frecuencia única utilizando Physics Toolbox Suite y acercar el móvil a uno de los extremos del tubo.
- Grabar el sonido mientras el imán desciende por la tubería vertical con la aplicación Voice Recorder.
- Al mismo tiempo, con otro móvil, registrar el tiempo total de desplazamiento del imán durante el experimento.
- Generar un archivo “wav” para observar mediante una gráfica de la amplitud de la onda sonora en función del tiempo.
- Realizar un ajuste con al menos 6 nodos que se generan dentro del tubo en función de la variación del tiempo.
- A partir de la pendiente se puede calcular la velocidad del imán que cae.
- Repetir el procedimiento al menos siete veces.

RESULTADOS

- Generar una gráfica amplitud versus tiempo, donde se observen los nodos de la onda.
- Registrar los datos en la siguiente tabla de valores para cada nodo en función de la variación del tiempo:

n (nodos)	t_n (s)	Variación $t_n = t_n - t_0$ (s)

- Generar una gráfica que represente el ajuste de los datos obtenidos, indicando además el coeficiente de determinación.

CONCLUSIONES

- Elaborar un resumen valorativo de forma crítica sobre las ventajas y desventajas del proceso experimental comparado con la teoría. Sugerir además mejoras o ampliaciones para esta experiencia.
-

REFERENCIAS

[Giménez, 2017b] Giménez, M. H., Castro-Palacio, J. C., & Monsoriu, J. A. (2017). Direct visualization of mechanical beats by means of an oscillating smartphone. *Physics Teacher*, 55, 424–425.

[Kasper, 2015] Kasper, L., Vogt, P., & Strohmeyer, C. (2015). Stationary waves in tubes and the speed of sound. *Physics Teacher*, 53, 52–53.

[Kuhn, 2013a] Kuhn, J., & Vogt, P. (2013). Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices. *European Journal of Physics Education*, 4, 47–58.

[Marín Sepúlveda, 2023] Marín Sepúlveda, C. F., & Castro-Palacio, J. C. (2023). Acoustic determination of g by tracking a free-falling body using a smartphone as a 'sonar'. *Physics Education*, 58. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/acbaf6>

PRÁCTICA 3: LEY DEL CUADRADO INVERSO

En esta práctica, se utilizará un control remoto de televisión como generador de radiación infrarroja, que emite pulsos cuando se activa, y una célula solar para detectar dicha radiación. La señal generada será convertida en una señal eléctrica y posteriormente grabada mediante un teléfono inteligente conectado a un altavoz.

Este procedimiento permitirá analizar cómo varía la amplitud de la señal en función de la distancia, facilitando una comprensión práctica de cómo la energía se dispersa en el espacio. La finalidad es verificar experimentalmente la relación inversa al cuadrado entre la intensidad de la radiación y la distancia, un principio fundamental en física.

Esta experiencia permitirá profundizar en conceptos relacionados con la propagación de ondas y la dispersión de energía, como también desarrollar habilidades en la medición, registro y análisis de señales eléctricas y acústicas, herramientas esenciales en el estudio de fenómenos físicos cotidianos.

MATERIALES

- Mando a distancia (por ejemplo, de un televisor) como fuente de radiación infrarroja.
- Célula solar de bajo costo.
- Altavoces y toma de audio conectada con pinzas.
- Smartphone con la App Physics Toolbox Sensors Suite.

PROCEDIMIENTO

- Se debe mantener silencio durante la realización del experimento.
- Preparar el equipo: utilizar un control remoto de TV como fuente de radiación infrarroja, una célula solar como detector, y un teléfono inteligente para grabar el sonido.
- Conectar la célula solar a un altavoz usando pinzas y un conector de audio.
- Configurar el experimento: colocar el control remoto a diferentes distancias de la célula solar y asegurarse de que el remoto emita pulsos infrarrojos presionando varias veces el botón de encendido.

RESULTADOS

- Registrar los datos: presionar el botón del control remoto, permitir que la célula solar detecte la radiación infrarroja, que se convierte en señal eléctrica y luego en sonido, y grabar esta señal con el teléfono inteligente.
- Analizar las grabaciones: editar el archivo de audio para identificar las amplitudes máximas de los pulsos en cada distancia, considerando que estas amplitudes son proporcionales a la intensidad infrarroja.

CONCLUSIONES

- Ajustar los datos: graficar las intensidades registradas en función de la distancia y ajustarlas a una función inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- Elaborar un resumen valorativo de forma crítica sobre las ventajas y desventajas del proceso experimental comparado con la teoría. Sugerir además mejoras o ampliaciones para esta experiencia.

REFERENCIAS

[Gatzia, 2021] Gatzia, D., & Ramsier, R. D. (2021). Dimensionality, symmetry and the inverse square law. *Notes and Records*, 75, 333–347.

[Kapucu, 2017] Kapucu, S. (2017). Finding the acceleration and speed of a light- emitting object on an inclined plane with a smartphone light sensor. *Physics Education*, 52, 055003.

[Marín Sepúlveda, 2024] Marín-Sepúlveda, C.F., Ortuño-Molina, S., Castro-Palacio, J.C., and Monsoriu, J.A. Acoustic testing of the inverse-square law using the infrared signal of a remote control. *Physics Education*, 59(3). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad37e7>

[Sans, 2013] Sans, J. A., Manjón, F. J., Pereira, A. L. J., Gomez-Tejedor, J. A., & Monsoriu, J. A. (2013). Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor. *European Journal of Physics*, 34, 1349–1355.

[Sans, 2017] Sans, J. A., Gea-Pinal, J., Gimenez, M. H., Esteve, A. R., Solbes, J., & Monsoriu, J. A. (2017). Determining the efficiency of optical sources using a smartphone's ambient light sensor. *European Journal of Physics*, 38, 025301.