



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2018/2019

proyecto N°43

SmartFIS: utilizando los teléfonos móviles en el aprendizaje de la Física

Norbert M. Nemes

Facultad de Ciencias Físicas

Departamento de Física de Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El Objetivo General del Proyecto de Innovación “SmartFis” se centraba en facilitar el aprendizaje de los contenidos propios de las múltiples asignaturas impartidas en el Laboratorio de Física General de la Facultad de Ciencias Físicas, en varias titulaciones, mediante la utilización de nuevos recursos didácticos, desarrollando nuevas prácticas de laboratorio basadas en el uso de smartphones, nuevos métodos docentes de laboratorio, y nuevos recursos en el Campus Virtual UCM.

Entre los Objetivos Específicos encontramos:

1. Diseño y desarrollo de nuevas prácticas de Laboratorio basados en smartphones y sus sensores, aprovechando sus habilidades computacionales y la existencia de software gratuito.
2. Diseño, desarrollo y comprobación de nuevos métodos de enseñanza en las sesiones de Laboratorio, con el fin de mejorar la dinámica de las mismas para fomentar la implicación, la creatividad y el trabajo de los estudiantes.
3. Posicionamiento del Campus Virtual en el centro del proceso de aprendizaje a través de foros para compartir videos y otros materiales de los experimentos realizados por los alumnos.
4. Diseño y desarrollo de nuevas herramientas multimedia para su uso en el Campus Virtual.
5. Satisfacer la demanda existente en la actualidad de nuevos recursos didácticos en el Campus Virtual por parte de los estudiantes de las asignaturas involucradas en este proyecto.
6. Fomentar el establecimiento y difusión de una uniformidad en la práctica docente relativa a estas asignaturas, ya que los diferentes profesores pueden utilizar un mismo material para los diferentes grupos.
7. Comprobación de la efectividad de las nuevas prácticas de Laboratorio y nueva dinámica de sesiones de Laboratorio con métodos estadísticos.
8. Realizar prácticas fuera del laboratorio (en jardines, campos de deporte, ...)

2. Objetivos alcanzados

El Objetivo General del Proyecto de Innovación “SmartFis” se centraba en facilitar el aprendizaje de los contenidos propios de las múltiples asignaturas impartidas en el Laboratorio de Física General de la Facultad de Ciencias Físicas. En gran medida hemos conseguido alcanzar este Objetivo según detallamos abajo, con nuevas dinámicas introducidas y probadas en las sesiones de laboratorio, nuevas prácticas desarrolladas basadas en SmartPhones y empleadas exitosamente, en particular durante la suspensión de clases presenciales, con herramientas multimedia y software también empleadas en clases de teoría, y con sesiones de docencia empleadas en entornos no-tradicionales.

En lo que sigue detallamos los Objetivos Específicos alcanzados y su grado de éxito.

1. Hemos desarrollado un buen número de prácticas realizables en cualquier entorno, basadas en la aplicación PhyPhox para SmartPhones. Estos son: Práctica: Magnetómetro(s) en el teléfono; Práctica: Campos magnéticos en espiras; Práctica: Determinación de la velocidad del sonido en el aire en condiciones normales; Práctica: Determinación de la frecuencia de batido en ondas sonoras; Práctica: Determinación del movimiento y disipación de energía en colisiones inelásticas; Práctica: Presión en una bolsa.

2. Hemos implementado nuevos métodos docentes de enseñanza y comprobado nuevas dinámicas docentes en las sesiones de laboratorio, por ejemplo, flexibilizando la manera en que los alumnos llevan a cabo sus prácticas.

3. En el Campus Virtual hemos empleado muy ampliamente los Foros para discutir asuntos fundamentales y prácticos de llevar a cabo las Practicas con PhyPhox, y a su vez las Tareas para entregar los Informes. También usamos el Campus Virtual para recolectar datos masivos de varios experimentos para que los alumnos puedan hacer un meta-análisis estadístico más profundo.

4. Hemos puesto a disposición de los alumnos en el Campus Virtual material multimedia, como fotos y videos que corresponden a las sesiones con PhyPhox. También hemos desarrollado software para una sesión analítica de estimar el valor de π con métodos Monte-Carlo.

5. Hemos desarrollado nuevos recursos didácticos en el Campus Virtual: Para cada practica hemos desarrollado un Guion, que adjuntamos a esta Memoria.

6. Hemos contribuido a homogeneizar la docencia entre grupos: Hemos puesto en marcha sesiones de laboratorio basadas en las Prácticas con PhyPhox en la asignatura de Laboratorio de Física I en el Grado de Física, entre todos los grupos en el año académico 2019-20.

7. Hemos comprobado la nueva dinámica de laboratorio, y observado su gran efectividad: los alumnos llevan a cabo sus tareas experimentales cada vez con más confianza y alegría y esto se ve reflejada en las notas obtenidas.

8. Hemos desarrollado sesiones docentes en entornos no tradicionales, por ejemplo, en la asignatura de Fundamentos de Física II del Grado de Física llevamos a cabo unos experimentos de la ola mexicana: varios grupos de la asignatura (alrededor de 100 alumnos) salimos al jardín en la Plaza de Ciencias para observar la propagación de ondas en cadenas humanas.

3. Metodología empleada en el proyecto

Las actividades del Proyecto se centran en dos ámbitos distintos.

Por una parte, en las clases tradicionales de la asignatura de Laboratorio de Física I del Grado de Física de la Facultad de Ciencias Físicas hemos comprobado la efectividad de alterar la dinámica de sesiones de las prácticas de laboratorio de los alumnos. Mayormente este cambio consiste en repartir cada práctica en dos medio-sesiones en semanas consiguientes. Hemos desarrollado estas comprobaciones en los años académicos de 2018-2019 y 2019-2020. Han participado en estas actividades los Profesores C. León, J. Santamaría, N. Nemes, B. Ayarzagüena, M. Avalos, L. Duran.

Por otra parte, hemos implementado varios experimentos utilizando smartphones que pueden servir para el trabajo de los alumnos y hemos desarrollado varios guiones de prácticas basados en estos resultados. Hemos desarrollado esta actividad a lo largo de toda la duración del Proyecto en 2018-2020. Han participado en esta actividad todos los miembros del Proyecto. En el apartado #5 de esta Memoria indicamos las contribuciones concretas.

Además, hemos desarrollado una tarea junto con una herramienta multimedia en el Campus Virtual para la parte Teórica de la asignatura de Laboratorio de Física I, basada en simulaciones Monte-Carlo para la medición del valor de π . El desarrollo e implementación de esta actividad tuvo lugar en el curso de 2018-19, por el Profesor C. León.

Hemos implementado actividades experimentales que permiten la Docencia en entornos no-tradicionales. En concreto hemos diseñado unas sesiones basadas en la medición de "la ola mexicana". La actividad ha sido implementada en el curso de 2018-19 en la asignatura de Fundamentos de Física II por el Profesor N. Nemes.

Adicionalmente, estamos aprovechando los resultados del Proyecto en el periodo de Estado de Alarma por COVID-19 para facilitar la Docencia a distancia en la asignatura de Laboratorio de Física I. Los estudiantes desarrollan tres prácticas de este Proyecto en su domicilio. Hacemos uso intensivo del Campus Virtual, con Foros asíncronos con actividad muy intensa. El periodo de esta actividad es el segundo cuatrimestre de 2020. Participan en esta Docencia los Profesores C. León y N. Nemes.

4. Recursos humanos

En el desarrollo del proyecto participaron activamente las siguientes personas, agrupados por categoría

profesores de la Facultad de Ciencias Físicas

Responsable: Norbert M. Nemes Profesor, Titular del Departamento de Física de Materiales;

Carlos León Yebra, Catedrático del Departamento de Física de Materiales;

Jacobo Santamaría Sánchez-Barriga Catedrático del Departamento de Física de Materiales;

Rainer Schmidt, Profesor Titular del Departamento de Física de Materiales;

Nevenko Biskup Zaja, Profesor Contratado Doctor del Departamento de Física de Materiales;

Juan Ignacio Beltrán Finéz, Profesor Ayudante Doctor del Departamento de Física de Materiales;

Javier Tornos Castillo, Profesor Ayudante Doctor del Departamento de Física de Materiales;

Blanca Ayarzagüena Porras, Profesor Ayudante Doctor del Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica

personal docente e investigador de la Facultad de Ciencias Físicas

Fabián Andrés Cuellar Jiménez, Investigador adscrito al proyecto del Departamento de Física de Materiales;

David Hernández Maldonado, Investigador contratado con “Atracción de Talento” de la Comunidad de Madrid en el Departamento de Física de Materiales hasta 2019;

Marta Ábalos Álvarez, Investigador contratado con “Atracción de Talento” de la Comunidad de Madrid en el Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica

Luis Duran Montejano, Profesor Asociado al Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica

personal de servicio y administración de la Facultad de Ciencias Físicas

Oscar Rodríguez Pérez, Técnico de Laboratorio de Física General

estudiantes de la Facultad de Ciencias Físicas

Ramón Javierre Aso de doble Grado en Física y Matemáticas

5. Desarrollo de las actividades

Describimos las actividades del Proyecto en tres ámbitos. Empezamos con las Prácticas desarrolladas con el uso de SmartPhones, basadas en la aplicación PhyPhox. Seguimos con la descripción de material docente desarrollada. Terminamos con la descripción de nuevos métodos docentes que hemos empleado en varias asignaturas. En gran medida los tres ámbitos están interconectados, por supuesto.

1. Hemos desarrollado un buen número de prácticas realizables en cualquier entorno, basadas en la aplicación PhyPhox para SmartPhones. En lo que sigue explicamos brevemente estas Prácticas.

5. Hemos desarrollado nuevos recursos didácticos en el Campus Virtual: Para cada Práctica hemos desarrollado un Guion, fruto de este Proyecto, que adjuntamos a esta Memoria. Además, hemos desarrollado software para la simulación Monte-Carlo (ver 2.)

6. Hemos contribuido a homogeneizar la docencia entre grupos: Hemos puesto en marcha sesiones de laboratorio basadas en las Prácticas con PhyPhox en la asignatura de Laboratorio de Física I en el Grado de Física, entre todos los grupos en el año académico 2019-20.

1.1. Determinación de la velocidad del sonido en el aire en condiciones normales: se trata de unos experimentos y correspondiente guion desarrollada por Prof. Carlos León. Los actuales teléfonos tienen una multitud de sensores que se puede usar para medir magnitudes físicas (intensidad de luz, intensidad de sonido, frecuencia de sonido, campo magnético, posición, ...) y así poder realizar sencillos experimentos de física en cualquier lugar, incluso en casa. Existen distintas aplicaciones que nos permiten usar estos sensores para realizar experimentos. En esta práctica se utiliza la app PhyPhox para transformar el teléfono móvil y convertirlo en un laboratorio en la propia casa. Se familiariza con el uso de PhyPhox y se lo utiliza para determinar la velocidad del sonido con la utilidad sonar que incorpora la propia aplicación.

1.2. Magnetómetro(s) en el teléfono: se trata de unos experimentos y correspondiente guion desarrollada por Dr. Fabián Cuellar. Dado que estos experimentos se han diseñado para ser realizados utilizando los diferentes sensores de los teléfonos móviles (prevalentes en casi todos móviles), en ésta práctica se hará uso del (los) magnetómetro(s) del teléfono por medio de la aplicación de libre acceso "Phyphox". Se aprovecha la oportunidad para incitar preguntas en el estudiante, relacionadas con los estándares de metrología y el dispositivo utilizado para realizar las medidas de campo magnético. A través de ésta primera práctica el estudiante aprenderá la localización del (los) magnetómetro(s) en su teléfono y se familiarizará con la realización de medidas de campo magnético en el ambiente PhyPhox. Se impulsa el uso del método científico investigativo para que el equipo de trabajo descubra las respuestas. Por ello se evita el método convencional de laboratorio basado en procedimiento guiado paso a paso; y se utiliza un esquema investigativo, donde las preguntas del documento guía llevan a que el grupo de estudiantes genere sus propios experimentos para contestar a las preguntas planteadas.

1.3. Campos magnéticos en espiras: se trata de unos experimentos y correspondiente guion desarrollada por Dr. Fabián Cuellar. El objetivo de ésta práctica es realizar medidas del campo magnético generado en una espira, utilizando uno de los magnetómetros del teléfono. Para conseguirlo el grupo de estudiantes diseñará su propio experimento y realizará las medidas para luego comparar con el resultado esperado desde la teoría. Se debe tener en cuenta que el equipo de medición no está

diseñado para medir campos alternantes, así que deberá usarse un campo magnético en estado estacionario (cuyas variaciones en el tiempo sean muy lentas o nulas).

1.4. Determinación de la frecuencia de batido en ondas sonoras: se trata de unos experimentos y correspondiente guion desarrollada por Prof. Blanca Ayarzagüena. En esta práctica se utiliza el móvil para identificar y cuantificar los batidos o pulsaciones en ondas sonoras con la ayuda de PhyPhox. Para realizar este experimento se necesita 3 smartphones o tablets: dos servirán para generar dos ondas armónicas y el tercero para visualizar la señal resultante.

1.5. Determinación de la velocidad del sonido en el aire mediante el estudio de ondas estacionarias en tubos abiertos: se trata de unos experimentos y correspondiente guion desarrollada por Prof. Javier Tornos. En esta práctica de investigación dirigida se quiere plantear a los alumnos la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo podemos obtener con precisión la velocidad del sonido en el aire mediante el uso de ondas de estacionarias? Esta práctica se basa en la determinación de las frecuencias propias producidas en tubos, de longitud medido, huecos golpeados y medidos por lo modalidad de Autocorrección de audio de PhyPhox.

1.6. Determinación del movimiento y disipación de energía en colisiones inelásticas: se trata de unos experimentos y correspondiente guion desarrollada por Prof. Juan Beltrán. En esta práctica se determina de manera sencilla el movimiento y disipación de energía de una pelota botando sobre una superficie homogénea. Cada impacto de la pelota en el suelo va a crear un sonido que será registrado temporalmente por el micrófono del teléfono.

1.7. Presión en una bolsa: se trata de unos experimentos sencillos que se puede realizar en casa ya que utiliza solo material que podemos encontrar fácilmente y el correspondiente guion desarrollada por Prof. Marta Abalos. Un posible experimento casero con el barómetro es medir el cambio de presión en una habitación o en el coche al cerrar la puerta de golpe. Este experimento se podría adaptar al entorno del laboratorio y hacerlo más complejo utilizando émbolos, midiendo el efecto de cambios de temperatura o volumen de un gas sobre la presión. El guion describe como estimar el peso de un cuerpo utilizando el barómetro del móvil, sellado en una bolsa de plástico.

1.8 Péndulo: hemos diseñado y construido un setup para el experimento clásico de Péndulo para determinar el valor de g . Este setup permite colocar en manera segura el móvil. Los datos obtenidos sirven por una parte para reproducir el experimento clásico simplemente usando el sensor de posición del móvil para contar mejor el tiempo de periodo, y por otra parte, al poder analizar en detalle como dependen los componentes de la aceleración de tiempo, se puede profundizar en el análisis.

2 y 7. Hemos implementado nuevos métodos docentes de enseñanza y comprobado nuevas dinámicas docentes en las sesiones de laboratorio, por ejemplo, flexibilizando la manera en que los alumnos llevan a cabo sus prácticas. En concreto, hemos empleado con mucho éxito en varios cursos académicos la siguiente modificación. Hemos repartido cada practica en dos sesiones de Laboratorio sin aumentar el número de días presenciales necesarias. Los alumnos empiezan a trabajar en una nueva practica cada vez a medio-tiempo de su sesión. Antes, terminan sus experimentos y cálculos restantes de la sesión anterior en la primera mitad de la sesión. Este cambio, aparentemente sencilla, tiene efectos dramáticos en el comportamiento, rendimiento, aprendizaje, y bienestar de los alumnos. El hecho de saber que tienen otra semana, otro medio-día disponible para terminar, corregir y mejorar, consigue un efecto tranquilizante. Eso es

muy importante en una práctica experimental, ya que no se puede llevar a cabo experimentos en un estado de nervios y tensados. Además, aunque los alumnos se disponen de unas descripciones muy detalladas del setup experimental y su uso, les resulta muy difícil imaginarlo, sin haberlo visto, usado, y hasta fracasado en su uso. No obstante, con este cambio de repartir las sesiones, tienen una semana entera para interiorizar el experimento, haberlo ya visto. También disponen tiempo en pensar en los posibles fallos en el experimento, y pueden mejorarlo en la semana siguiente. Hemos comprobado la nueva dinámica de laboratorio, y observado su gran efectividad: los alumnos llevan a cabo sus tareas experimentales cada vez con más confianza y alegría y esto se ve reflejada en las notas obtenidas.

3. En el Campus Virtual hemos empleado muy ampliamente los Foros para discutir asuntos fundamentales y prácticos de llevar a cabo las Practicas con PhyPhox en forma remota, a distancia, y a su vez las Tareas para entregar los Informes. También usamos el Campus Virtual para recolectar datos masivos de varios experimentos para que los alumnos puedan hacer un meta-análisis estadístico más profundo. Incluimos unas grabaciones de Pantalla de discusiones en los Foros de Campus Virtual de la Practica de Velocidad de Sonido. Los Foros resultan ser muy apropiados para estas discusiones. No solo permiten a los profesores responder detenidamente a las preguntas y dudas planteadas, igual que ocurriría en una sesión de laboratorio convencional, sino que ambas dudas y respuestas están disponibles para todos los alumnos y pueden estudiarlos y usarlos en sus experimentos.

4. Hemos puesto a disposición de los alumnos en el Campus Virtual material multimedia, como fotos y videos que corresponden a las sesiones con PhyPhox. También hemos desarrollado software para una sesión analítica de estimar el valor de π con métodos Monte-Carlo. Se trata de una práctica numérica con software y correspondiente guion desarrollada por Prof. Carlos León. Los métodos de Monte Carlo son algoritmos computacionales que consisten en muestrear repetida y aleatoriamente para la obtención de resultados numéricos. La estimación del número π es uno de los ejemplos más sencillos del uso de métodos de Monte Carlo. La idea es simular repetidamente y de forma aleatoria un conjunto de puntos (x,y) en el cuadrado definido por el dominio $-1 < x < 1, -1 < y < 1$. La fracción de puntos simulados que están dentro del circulo inscrito en el cuadrado, respecto del total de puntos simulados, tiende al cociente entre las áreas del circulo y el cuadrado ($p/4$) cuando el número de puntos simulados tiende a infinito. El software produce un conjunto de “datos” contundente y los alumnos pueden aplicar los conocimientos estadísticos adquiridos en la parte teórica de la asignatura.

8. Hemos desarrollado sesiones docentes en entornos no tradicionales, por ejemplo, en la asignatura de Fundamentos de Física II del Grado de Física llevamos a cabo unos experimentos de la ola mexicana: varios grupos de la asignatura (alrededor de 100 alumnos) salimos al jardín en la Plaza de Ciencias para observar la propagación de ondas en cadenas humanas. Adjuntamos a esta Memoria un ejemplo de formulario rellenado por los alumnos durante la realización de esta actividad.

6. Anexos

- Guion de la Práctica: Magnetómetro(s) en el teléfono
- Guion de la Práctica: Campos magnéticos en espiras
- Guion de la Práctica: Determinación de la velocidad del sonido en el aire en condiciones normales
- Guion de la Práctica: Determinación de la velocidad del sonido en el aire mediante el estudio de ondas estacionarias en tubos abiertos
- Guion de la Práctica: Determinación de la frecuencia de batido en ondas sonoras
- Guion de la Práctica: Determinación del movimiento y disipación de energía en colisiones inelásticas
- Guion de la Práctica: Presión en una bolsa
- Imagen del setup construido para el experimento de Péndulo
- Descripción de la herramienta on-line para la estimación del valor de π usando técnicas de simulación Monte-Carlo
- Ejemplo de un formulario empleado por los alumnos en la Docencia-afuera: la Ola Mexicana.
- Grabación de pantalla de un Foro de Campus Virtual con discusiones extensivas de alguna Practica

Determinación de la velocidad del sonido en el aire mediante el estudio de ondas estacionarias en tubos abiertos.

En esta práctica de investigación dirigida se quiere plantear a los alumnos la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo podemos obtener con precisión la velocidad del sonido en el aire mediante el uso de ondas de estacionarias?

Como material se les facilitará una serie de tubos de plásticos huecos y abiertos por ambos extremos de distintas longitudes. Al ser golpeados, estos producen distintas frecuencias de sonido. También se les dispondrá de un metro para medir distancias y una baqueta de goma que elimina el sonido de segundos y terceros armónicos (Figura 1). Además de ello, en esta práctica vamos a utilizar la aplicación Phypox para transformar nuestro teléfono móvil y convertirlo en un aparato de medida de laboratorio (Figura 2).



Figura 1: Material necesario para la realización del experimento: Metro para medir longitudes, baquetaterminada en una goma elástica, tubos de plástico del mismo diámetro y distinta logitud.

Es necesario instalar Phypox en el teléfono móvil y familiarizarse un poco con la aplicación. Las instrucciones para ello podéis encontrarlas en la web (<https://phypox.org/>), donde también hay una lista de posibles experimentos.

La aplicación tiene un apartado de título “Autocorrelación de audio” (Figura 2) incorporado en la aplicación, en la que se permite medir frecuencias de señales de audio que tengan una sola frecuencia (sinusoidales), como se produce de manera aproximada en un tubo de plástico abierto si se minimizan las frecuencia de segundos y terceros armónicos (al golpearlo con una baqueta con punta de goma).



Figura 2: Aplicación Phyphox para "smartphones"

Trabajo previo:

Antes de la realización del experimento, se les facilitará a los alumnos información sobre los fundamentos teóricos sobre ondas estacionarias. Esta información se puede encontrar en libros de introducción a la física como: " F.W. Sears, M.W. Zemansky, H.D. Young y R.A. Freedman, Física Universitaria (11ª Ed.) (Pearson Education, 2004), R.A. Serway, Física (5ª Ed) (McGraw-Hill, Madrid, 2002) o P.A. Tipler y G. Mosca, Física para la ciencia y la tecnología (5ª Ed) (Reverté, Barcelona 2005)". Esta información también se puede encontrar fácilmente en Internet como en la página web:

https://ocw.upc.edu/webs/42254/Acustica_ES/Bloc3/Tema10/Fitxes/T10_02_Ones_est_tub_o_bert.htm, <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/acustica/tubos/tubos.htm> o https://www.youtube.com/watch?v=pusTQ8_4VnA

La idea, es que sean los propios alumnos los que sepan encontrar la información relevante en la cual, se vincule las ondas estacionarias en tubos abiertos y la velocidad del sonido.

A través de este proceso se puede llegar a la siguiente relación:

$$v = 2Lf$$

Dónde, v es la velocidad del sonido, L es la longitud del tubo y f es la frecuencia fundamental. De esta manera se puede concluir que si medimos la frecuencia fundamental del sonido que emite un tubo abierto conocida su longitud podremos obtener la velocidad del sonido en el medio en que se propaga, que en este caso es aire.

Planteamiento de hipótesis.

Una vez analizado el problema, los alumnos deberán plantear la hipótesis que responda a la pregunta de investigación. La hipótesis que habría que comprobar es si la frecuencia de cada tubo es proporcional al inverso de la longitud (o viceversa). De esta manera, los alumnos podrán predecir antes de comenzar a medir, que según aumentemos la longitud del tubo, la frecuencia del sonido medida debe disminuir.

Realización de las medidas y análisis de los resultados:

Debido a que en la pregunta de investigación se especifica “medir con precisión” los alumnos deberán decidir cómo medir, cuántas medidas realizar y cómo es mejor analizar los resultados, es decir, se les debe plantear estas preguntas, y los alumnos deben encontrar la mejor respuesta usando argumentos científicos.

¿Cómo es mejor medir?

La forma más óptima de medir la frecuencia es acercar el micrófono del teléfono móvil lo máximo posible a uno de los extremos del tubo (por dónde sale la onda sonora). Se considera que el uso de una baqueta con punta de goma que elimina frecuencias de segundos y terceros armónicos lo explique el profesor debido a que se aleja del objetivo de esta práctica

¿Cuántas medidas se deben realizar?

Mientras que la medida de longitud solo produce una incertidumbre sistemática debido a la precisión del metro (del orden de milímetros), la medida de la frecuencia es más delicada. Aunque la precisión de la aplicación de Phyphox está por debajo de 1 Hz, la incertidumbre aleatoria es mucho mayor (del orden de 10 Hz), los alumnos deberán decidir cuántas medidas deberán realizar para considerar que la medida de la frecuencia es lo suficientemente precisa. Por último se deberá decidir para cuántas longitudes de tubo se quiere medir. Lo mejor es medir para todas las longitudes, pero si no se dispusiera de suficiente tiempo, lo mejor es medir el mayor rango de longitudes posible.

¿Cómo es mejor analizar los datos?

En este experimento (medida de la frecuencia en tubo abierto por los dos extremos), se puede obtener la velocidad del sonido sin más que multiplicar cada frecuencia por dos veces la longitud ($v=2fL$). Por lo que se podría hacer una media aritmética de todas las medidas. Sin embargo, resulta mejor representar gráficamente por ejemplo L frente $1/f$ y hacer un ajuste lineal donde la pendiente será igual a $v/2$ (Figura 3). Este último método reduce mucho la incertidumbre aleatoria que proviene de la medida de la frecuencia. Finalmente se puede comprobar la calidad de la medida comparando el valor obtenido de la velocidad del sonido con un valor de referencia. Por ejemplo se puede comparar con el valor

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Donde γ es el coeficiente de dilatación adiabática (1,4 para el aire) R es la constante universal de los gases (8,314 J/(mol·K)) T es la temperatura en kelvin y M es la masa molar del gas (0,029 kg/mol para el aire). De esta manera se puede obtener que para el aire a 300K (temperatura ambiente), la velocidad del sonido es 347 m/s.

A continuación se exponen en la Tabla 1 los resultados obtenidos para que sirvan de referencia.

L	ΔL	f	Δf	v	Δv
m	m	Hz	Hz	m/s	m/s
0.628	0.001	262	10	329	25
0.557	0.001	295	10	329	22
0.492	0.001	333	10	328	20
0.463	0.001	350	10	324	19
0.411	0.001	382	10	314	16
0.364	0.001	440	10	320	15
0.323	0.001	492	10	318	13
0.302	0.001	515	10	311	12

Tabla 1: Resultados de las medidas de la frecuencia y longitud y cálculo de la velocidad del sonido para cada tubo.

Como se puede observar en la Tabla 1, a través del cálculo de la velocidad para cada medida se obtiene un valor de la velocidad del sonido cercano al valor tabulado (347 m/s). Aunque en muchos de los casos este valor tabulado queda dentro del intervalo de incertidumbre, los valores distan sobre todo para longitudes L pequeñas. Para mejorar la precisión de la velocidad del sonido es necesario realizar un ajuste lineal de L frente a $1/f$ (Figura 3), el cual reduce la incertidumbre aleatoria de la medida de la frecuencia. De este ajuste se obtiene un valor de la pendiente de 174 m/s, lo cual corresponde a un valor de la velocidad del sonido $v=347$ m/s que coincide con su valor tabulado a temperatura ambiente.

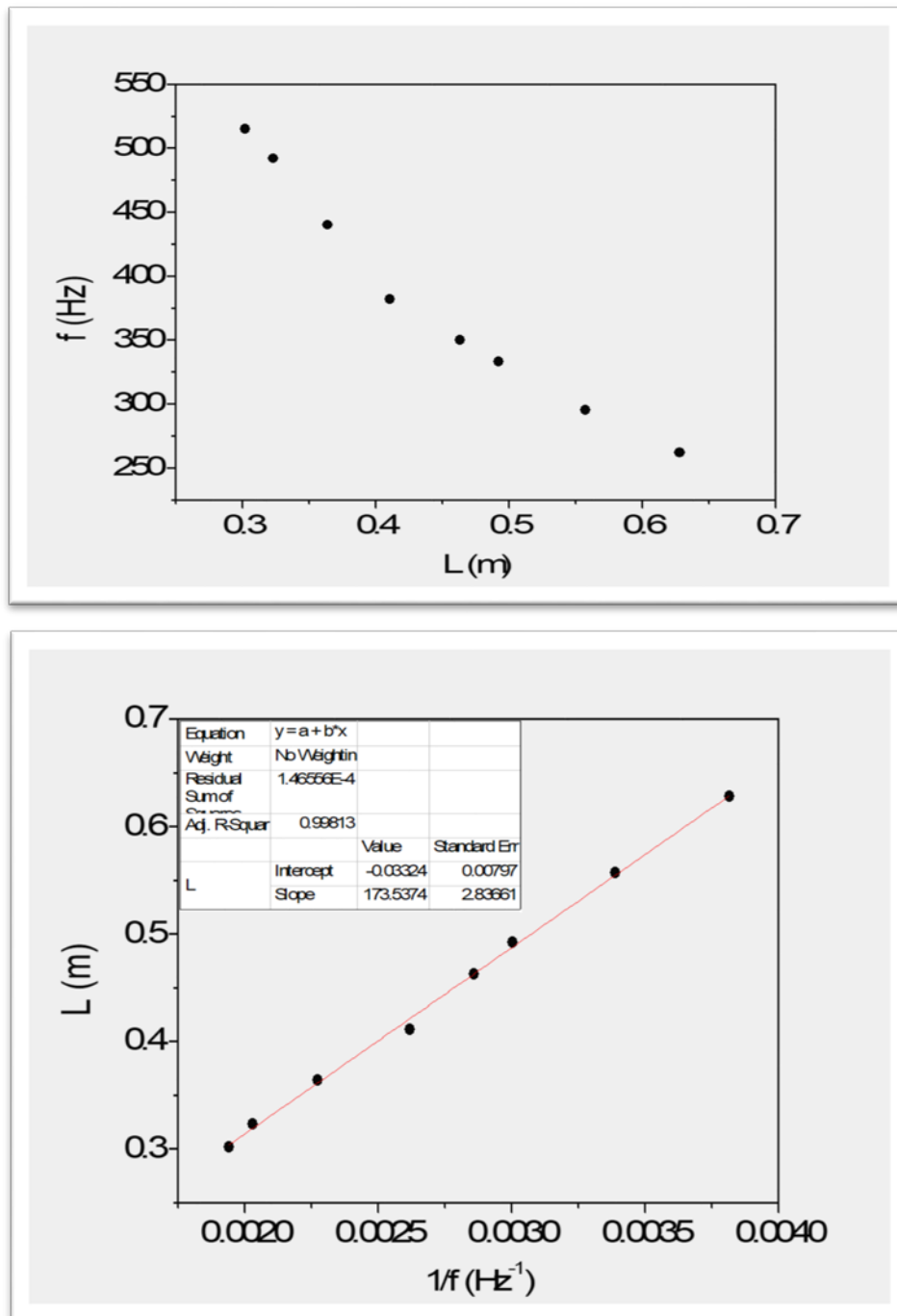


Figura 3: Medidas de frecuencia frente a longitud para los distintos tubos (parte superior). Ajuste lineal de L frente a $1/f$ (parte inferior)

Como extensión a esta práctica se puede también comparar el método de determinación de la velocidad del sonido con los realizados en los siguientes enlaces

<https://www.ucm.es/theoscarlab/velocidad-del-sonido>

<https://phyphox.org/experiment/speed-of-sound/>

Redacción del informe de laboratorio

Finalmente se redactará una breve memoria en donde se vean reflejados los siguientes aspectos: introducción y motivación, métodos y diseño experimental, análisis y discusión de datos y finalmente una conclusión. En el primer apartado se reflejará el objetivo del trabajo de investigación, partiendo de la pregunta original, el por qué es interesante realizar este trabajo y se abordará la hipótesis que se ha querido comprobar. En el apartado de diseño experimental, se explicarán el montaje experimental, junto a las técnicas y aparatos de medidas empleados, justificando su uso desde una perspectiva científica. En el apartado de resultados se presentarán debidamente todas las medidas realizadas, ya sean presentadas en tablas o en gráficas. Al final de este apartado se analizarán los datos presentados, explicando en detalle cada gráficas presentadas, que información se obtiene de ellos y su fiabilidad, se pueden proponer experimentos que den continuidad a dicho estudio o estudios paralelos que hayan realizado. Por último se sintetizará las conclusiones más importantes obtenidas en este estudio.

Práctica: Magnetómetro(s) en el teléfono

Motivación

Dado que estos experimentos se han diseñado para ser realizados utilizando los diferentes sensores de los teléfonos móviles, en ésta práctica se hará uso del (los) magnetómetro(s) del teléfono por medio de la aplicación de libre acceso “Phyphox” (RWTH Aachen University). Se aprovecha la oportunidad para incitar preguntas en el estudiante, relacionadas con los estándares de metrología y el dispositivo utilizado para realizar las medidas de campo magnético.

Metrología

Al llegar al laboratorio, el estudiante puede confiar en que los equipos de medida allí facilitados están correctamente calibrados, además de conocer su geometría de utilización y hechos más detallados como la precisión y rango de medida. Durante esta práctica el teléfono inteligente y el software Phyphox son utilizados para realizar la medición del campo magnético, de los cuales no conocemos ni su geometría, disposición ni calibración. Para una óptima medición del campo magnético es crítico conocer la localización del (los) magnetómetro(s) en el teléfono, y en caso de que sean varios conocer la dirección de medida de cada uno.

A través de ésta primera práctica el estudiante aprenderá la localización del (los) magnetómetro(s) en su teléfono y se familiarizará con la realización de medidas de campo magnético en el ambiente Phyphox.

Se impulsa el uso del método científico investigativo para que el equipo de trabajo descubra las respuestas. Por ello se evita el método convencional de laboratorio basado en procedimiento guiado paso a paso; y se utiliza un esquema investigativo, donde las preguntas del documento guía llevan a que el grupo de estudiantes genere sus propios experimentos para contestar a las preguntas planteadas.

Hipótesis

Para el proceso de aprendizaje es más interesante pensar desde la perspectiva de una caja negra e intentar contestar desde la lógica y el sentido común, antes que buscar la información oficial del fabricante o del programador del entorno. A continuación usa tus conocimientos, la lógica y el sentido común (no busques la información del fabricante) para comentar/discutir sobre las siguientes preguntas: (5 minutos en total)

1. ¿para qué tipo de funcionalidad se ha instalado un magnetómetro en mi teléfono?
2. ¿las aplicaciones mencionadas requieren de la información vectorial del campo, o sólo de su magnitud?
3. Con base en las respuestas anteriores ¿qué orden de magnitud de campo magnético puede medir mi teléfono?
4. Para las aplicaciones contempladas ¿necesita estar calibrado el sensor de mi teléfono?
5. ¿qué es más factible? ¿el teléfono usa un sensor hall como magnetómetro?, ¿el teléfono usa una bobina como magnetómetro?, ¿usa mi teléfono su propia antena de comunicaciones como magnetómetro? O ¿utiliza un squid como magnetómetro? Si alguno de los dispositivos no es conocido pregunta al profesor sobre su funcionamiento.

Investigación

En ésta parte vas a desarrollar una serie de medidas para contestar al máximo de especificidad posible las preguntas de la sección anterior.

Abre ahora la aplicación Phyphox en el teléfono inteligente que vas a usar para éste experimento y accede a la sección “Magnetómetro”.

Diseña y ejecuta con tu equipo de trabajo un experimento que permita determinar las direcciones x, y, z en el cuerpo del teléfono. (máximo 40 minutos)

Diseña y ejecuta con tu equipo de trabajo un experimento que permita determinar la posición exacta de al menos uno de los magnetómetros del teléfono. (máximo 10 minutos)

Después de haber realizado los experimentos, vuelve a discutir las cuestiones planteadas en la sección de hipótesis. (5 min)

Consulta en varias fuentes el valor del campo magnético de la tierra, con base en ese valor ¿cómo esperarías que fuesen las medidas realizadas?

Al comparar lo esperable con las medidas obtenidas ¿se puede decir que los magnetómetros del teléfono están calibrados? ¿Por qué razón(es) crees que esto es así?, al contestar ten en cuenta las aplicaciones contempladas en la primera pregunta.

A la vista de todo lo anterior ¿el experimento diseñado para determinar el eje coordenado es el mejor posible? O ¿se podría implementar alguna modificación para que los resultados sean irrefutables?

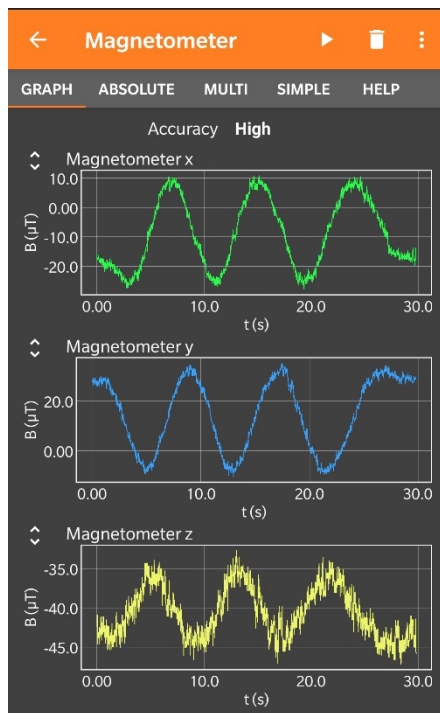
Informe: Explicar los experimentos diseñados, enseñar las medidas, desarrollar las conclusiones y responder a todas las preguntas.

Solución a la Práctica 1: Fabián A. Cuéllar J.

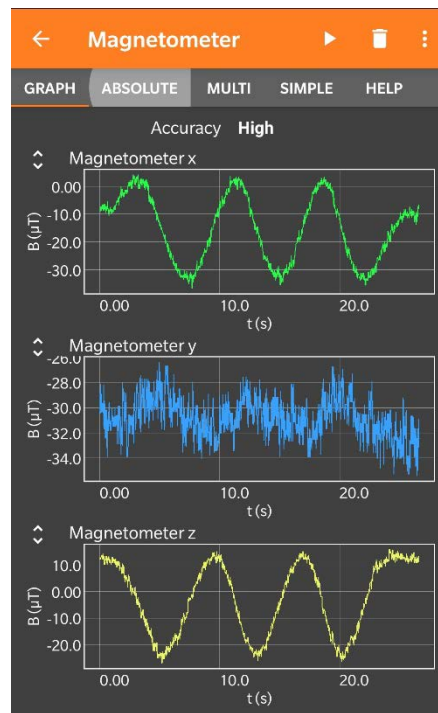
Experimento 1:

Para determinar la dirección de cada uno de los magnetómetros es necesario tener un campo magnético homogéneo, con una dirección conocida. Por lo tanto, elementos como unos altoparlantes, unos audífonos o unos cables eléctricos no son de utilidad para tener una dirección definida del campo, sin embargo el campo magnético de la tierra es una magnitud que los sensores del teléfono miden bastante bien, y que a escala humana es un campo totalmente homogéneo.

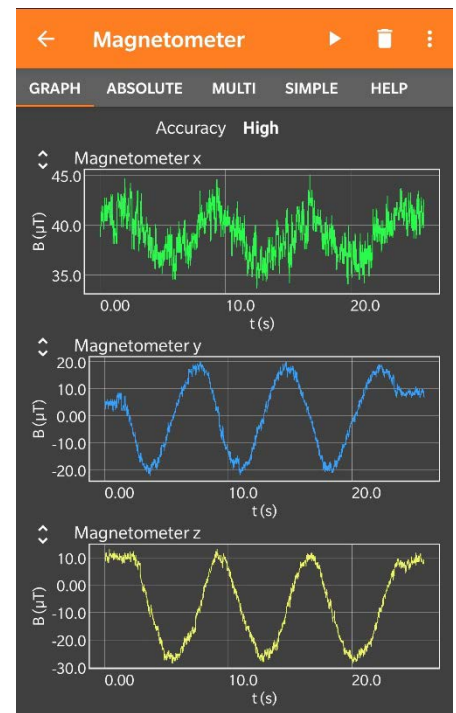
Ya que los sensores del teléfono están diseñados para obtener la información del vector campo magnético, sus tres sensores miden en direcciones ortogonales. Siempre se puede colocar al teléfono de forma que uno de sus lados sea perpendicular al plano terrestre, si a continuación se realiza una rotación del teléfono, se registrará en la dirección perpendicular al plano el cambio de magnitud más pequeño de todos. De esta forma se puede identificar una de las direcciones del teléfono, tras realizar rotaciones con el teléfono en tres posiciones ortogonales, se podrá saber sin lugar a dudas cuál magnetómetro mide en qué dirección.



a)



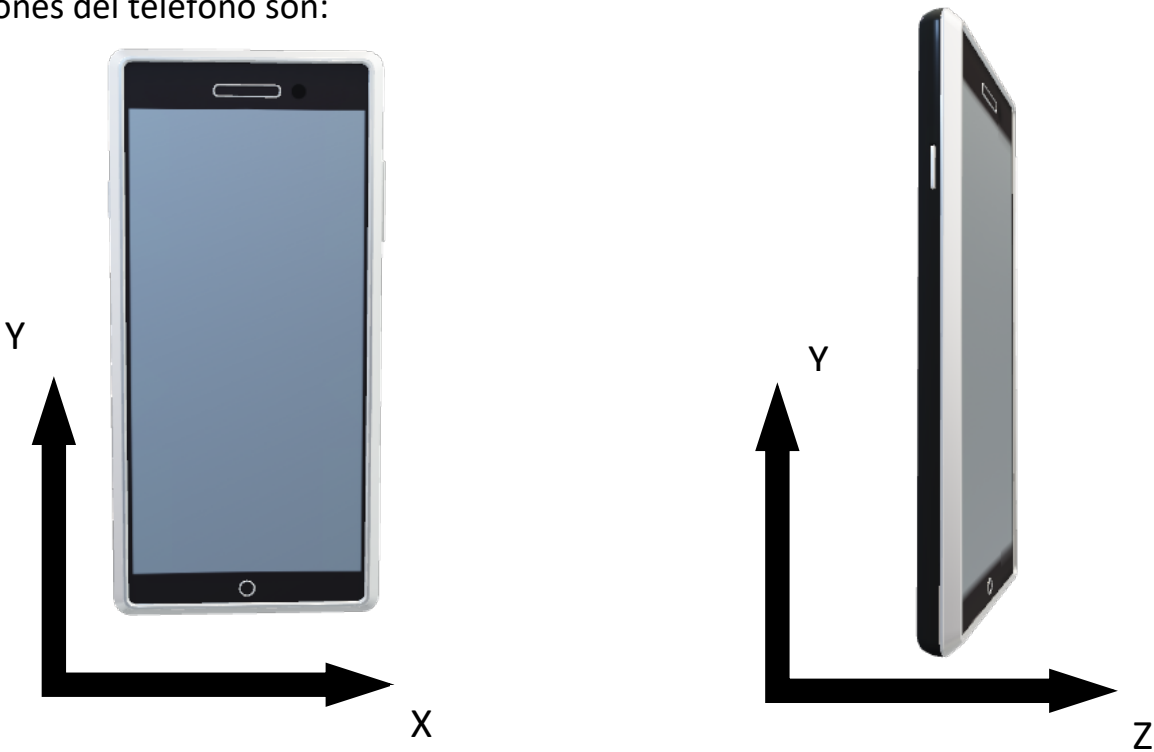
b)



c)

Para las rotaciones se utilizó una silla giratoria en la que se apoyó el teléfono en diferentes posiciones. La primera medida (a) se realizó con la pantalla del teléfono paralela al plano terrestre, la segunda medida (b) se realizó con el teléfono en vertical, y la tercera medida (c)

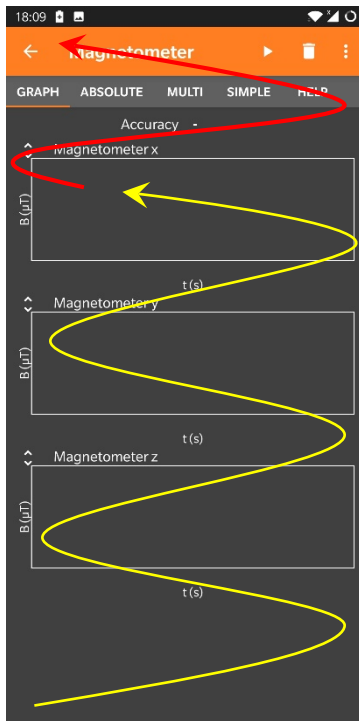
se realizó con el teléfono apoyado en el espaldar, en posición horizontal. De aquí que las direcciones del teléfono son:



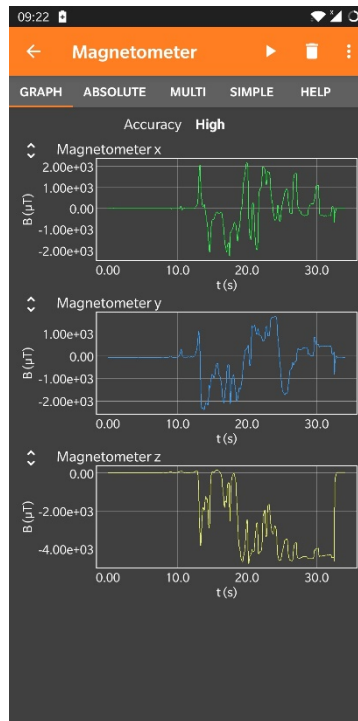
Experimento 2:

Para determinar la posición exacta de los magnetómetros se necesita de un cuerpo pequeño, que tenga un campo magnético suficientemente fuerte para ser detectado por los magnetómetros sin confundirlo con ruido ambiental. Para ello he elegido un extremo de unos audífonos. Al moverlo sobre la superficie de la pantalla, las magnitudes medidas en los tres sensores deben aumentar considerablemente al acercarse a la ubicación de los magnetómetros.

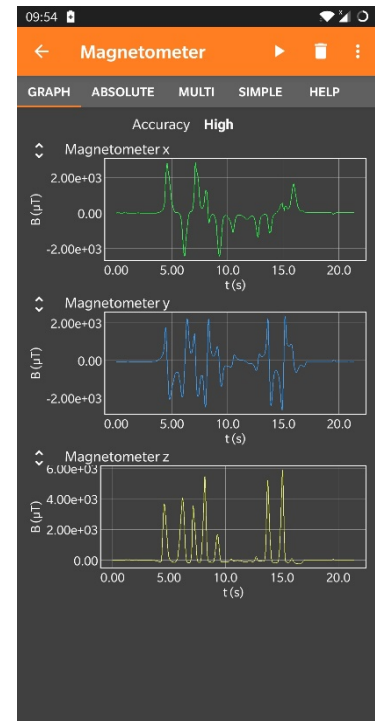
El trayecto zigzagante de la figura f) representa el trayecto recorrido con el auricular, la línea amarilla muestra los primeros 10 segundos de recorrido de la medida mostrada en g), donde no hay registro de señal. La línea de color rojo muestra la parte del recorrido después de 10 segundos, el primer pequeño pico a la derecha de la marca de 10s corresponde a la zona de la primera curva de la izquierda. El segundo pico que se observa alrededor de 13s se produjo al mover el auricular sobre la zona marcada por la flecha roja, de ahí en adelante se realizaron movimientos aleatorios que buscan maximizar la señal y así determinar la posición donde los magnetómetros registran un campo magnético máximo.



f)



g)



h)

Después de realizar el barrido descrito por la figura f), unos movimientos aleatorios alrededor de la zona superior y ver su correlación las medidas de la figura g) se concluye que los tres magnetómetros están juntos y en éste teléfono en particular se encuentran en la zona utilizada para enseñar la hora. 18:09 en f), 09:22 en g) y 09:54 en h)

Conociendo la disposición del imán dentro de un auricular, se espera que las líneas de campo magnético al exterior del auricular, en el lado que emite el sonido, sean radiales de sentido arbitrario dependiendo de si el norte magnético está hacia atrás o hacia la superficie que emite el sonido. Después de haber pensado en ello, he realizado una medida de comprobación que se muestra en la figura h). En lugar de mover la superficie sonora del auricular sobre la pantalla, la he movido por atrás del teléfono, de ésta forma la señal registrada por el magnetómetro correspondiente (M_z) ha cambiado de signo; en la figura g) es siempre negativa, mientras que en la figura h) es siempre positiva. El hecho de que la magnitud registrada en h) sea mayor que la registrada en g), sugiere que los magnetómetros están más hacia atrás del teléfono que hacia la pantalla del mismo.

Las señales registradas en M_x y M_y pasan de positivo a negativo porque he realizado movimientos cruzados (en diferentes direcciones) sobre la posición de los magnetómetros

Práctica 2: Campos magnéticos en espiras

Motivación

El objetivo de ésta práctica es realizar medidas del campo magnético generado en una espira, utilizando uno de los magnetómetros del teléfono que ya debe haber sido caracterizado por el estudiante en la práctica 1. Para conseguirlo el grupo de estudiantes diseñará su propio experimento y realizará las medidas para luego comparar con el resultado esperado desde la teoría. Se debe tener en cuenta que el equipo de medición no está diseñado para medir campos alternantes, así que deberá usarse un campo magnético en estado estacionario (cuyas variaciones en el tiempo sean muy lentas o nulas).

Campo creado por una espira

El campo magnético generado por una corriente eléctrica (I) en una espira circular tiene forma de toroide de revolución con la espira como núcleo. Comencemos por la dirección con mayor simetría para simplificar la matemática; en los puntos del eje de la espira, la magnitud del campo magnético se expresa por:

$$B = \frac{\mu_0 I r^2}{2\sqrt{(x^2 + r^2)^3}} \Rightarrow \begin{cases} x: \text{distancia al centro} \\ r: \text{radio de la espira} \end{cases} \quad (\text{ec. 1})$$

Con base en ésta ecuación derivada de la ley de Biot-Savart, y el conocimiento adquirido en la práctica 1, diseña con tu grupo de trabajo un experimento que permita verificar ésta ecuación.

Consideraciones metrológicas

1. ¿A cuánto asciende la magnitud máxima de campo magnético que has registrado durante la práctica 1?
2. Con base en las medidas de la práctica anterior ¿cuál dirías que es la resolución de los magnetómetros del teléfono?
3. Estima la distancia a la que se encuentra el magnetómetro de la superficie del teléfono.

Ten en cuenta que es relativamente sencillo encontrar en un laboratorio una fuente de corriente que pueda subir hasta 10 amperios, considera que trabajar con corrientes altas tiene un mayor riesgo asociado (10 amperios es un valor alto, valores seguros van desde microamperios hasta unos pocos cientos de miliamperios).

También es importante tener en cuenta que la mayoría de teléfonos hacen una lectura de los magnetómetros a una velocidad de 50Hz o 100Hz, así que debemos restringirnos a medidas en estado estacionario (si quieres saber por qué es esto así, pregunta al profesor o consulta en tu tiempo libre el “teorema de muestreo”), lo que nos restringe a trabajar en corriente continua.

Diseña con tu grupo de trabajo un experimento para corroborar la ec. 1, usando el teléfono inteligente como sensor de campo magnético.

Discute con el profesor el diseño final.

Parte 2. Será llevada a cabo en la siguiente sesión de laboratorio

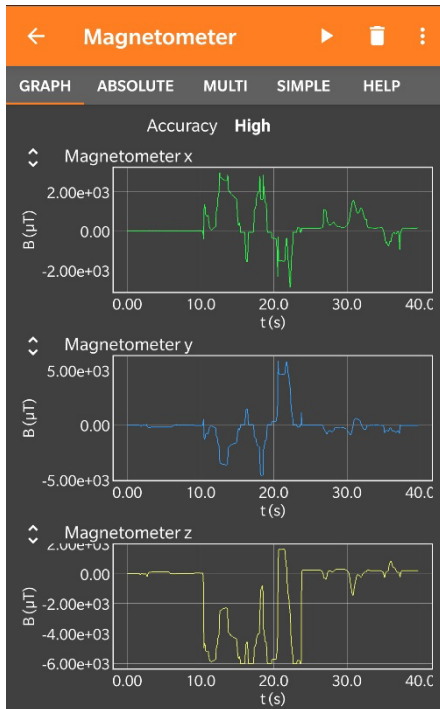
Implementa y ejecuta el diseño que has desarrollado en la sesión anterior.

En el Informe: describir detalladamente el diseño del experimento. A continuación presenta las medidas obtenidas y compara el resultado con lo que se espera obtener a partir de la ec.1

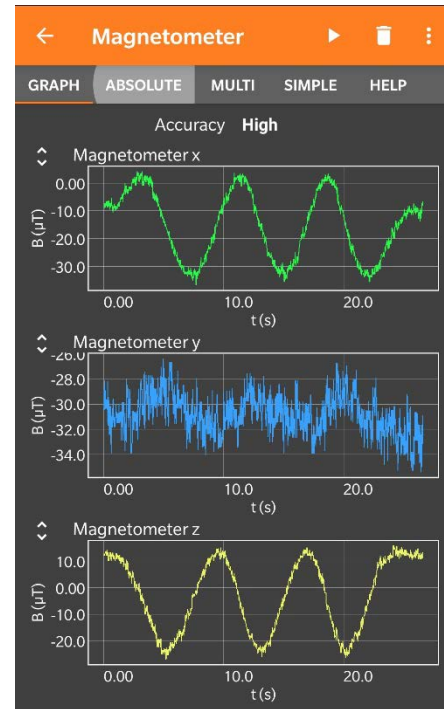
Solución a la Práctica 2: Fabián A. Cuéllar J.

Cuestiones de metrología

1. El campo máximo medido es de 6mT (fig. a), magnetómetro z (Mz).
2. Considero que la variación mínima registrada, distinguible del nivel de ruido es de $5\mu\text{T}$ (obtenido de la variación de M_y en fig b).



a)



b)

3. El espesor del teléfono es de 8mm, estimo entonces que el magnetómetro se encuentra a unos 4mm de la superficie.

Se propone usar una espira de 2cm de radio, que será fabricada en el mismo laboratorio con alambre de calibre grueso para soportar los 10 amperios de corriente máxima, también se deberá poner en serie una resistencia de valor bajo y que soporte alta potencia, para evitar que la protección de corto circuito de la fuente impida la realización del experimento.

Si se utiliza un alambre de cobre de calibre 14 AWG se espera que soporte hasta 20 amperios, si se utiliza un 8 AWG se espera que soporte hasta 50 amperios, así que cualquier calibre de nomenclatura inferior a 14 AWG es seguro. Queda establecido el criterio para la elección del alambre del que se fabricará la espira.

Como resistencia se propone el uso de un reóstato de 30cm de longitud presente en el laboratorio de electricidad y magnetismo, también presente en el laboratorio de física general, que se utiliza en otras prácticas en las que también se usan corrientes altas (ciclo de histéresis, resistividad del cobre/aluminio).

Dado que la distancia estimada en la pregunta 3. es de 4 mm, los valores de x para esta práctica tendrán siempre esos 4mm adicionales.

Valores esperados

Para corroborar la ec. 1 podemos variar por ejemplo la corriente aplicada a la espira, y mantener todos los demás parámetros constantes. También se puede hacer fácilmente un recorrido en distancias x sobre el eje de la espira, manteniendo la corriente fija.

$$B = \frac{\mu_0 I r^2}{2\sqrt{(x^2 + r^2)^3}} \Rightarrow \begin{cases} x: \text{distancia al centro} \\ r: \text{radio de la espira} \end{cases}$$

Valores esperados para una espira de 2 cm de radio

distancia (cm)	x (cm)	B (μT)
0	0.4	296.2
0.2	0.6	276.1
0.4	0.8	251.5
0.6	1	224.8
0.8	1.2	198.1
1	1.4	172.7
1.2	1.6	149.6
1.4	1.8	129.0
1.6	2	111.1
1.8	2.2	95.6
2	2.4	82.4
2.2	2.6	71.2
2.4	2.8	61.7
2.6	3	53.6

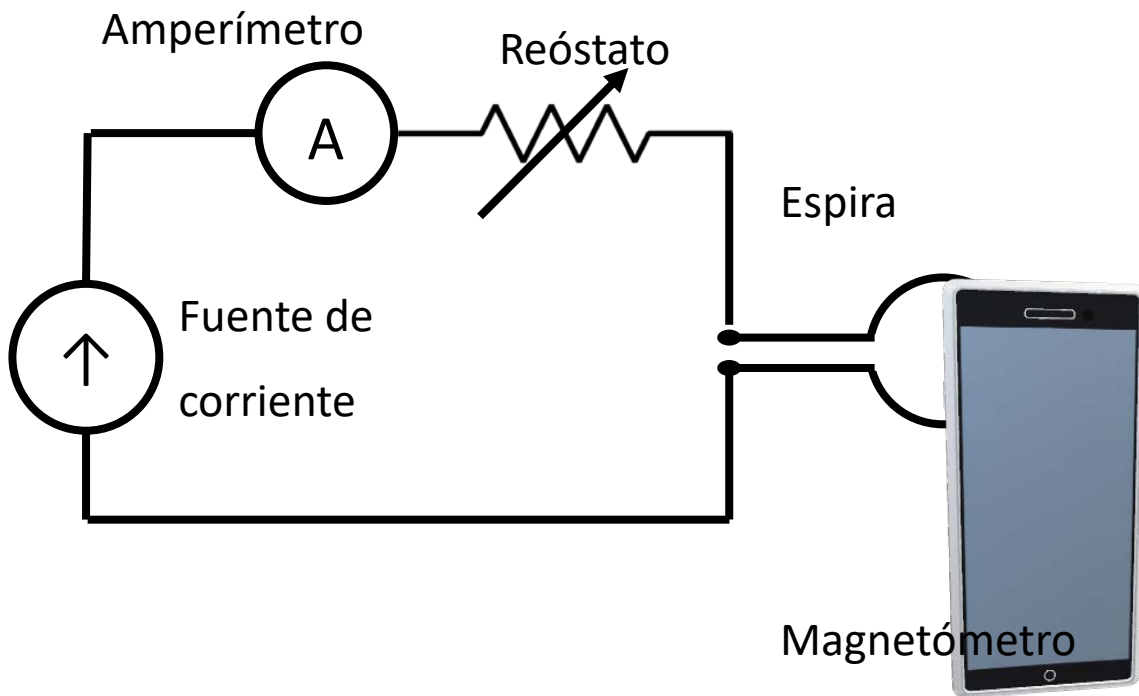
corriente (A)	B (μT)
1	29.6
1.5	44.4
2	59.2
2.5	74.1
3	88.9
3.5	103.7
4	118.5
4.5	133.3
5	148.1
5.5	162.9
6	177.7
6.5	192.5
7	207.3
7.5	222.2
8	237.0
8.5	251.8
9	266.6
9.5	281.4
10	296.2

La tabla en la izquierda contiene los valores esperados de campo magnético si se hace un desplazamiento del teléfono en pasos de 2 mm, es un barrido bastante controlable con la ayuda de una regla de oficina, o una base con tornillo micrométrico. La primera columna contiene el desplazamiento realizado al teléfono, mientras que la segunda columna contiene el valor utilizado para el parámetro "x" de la ecuación 1.

La tabla de la derecha contiene los valores esperados de campo magnético si se mantiene el teléfono en contacto con la espira ($x = 4$ mm), y se realiza un barrido en corriente.

Se han elegido barridos que permitan realizar medidas dentro del rango de trabajo del magnetómetro y cuya variación es mayor a la resolución observada (pregunta 2).

Circuito de medida



Determinación de la velocidad del sonido en el aire en condiciones normales.

Los actuales teléfonos tienen una multitud de sensores que podemos usar para medir magnitudes físicas (intensidad de luz, intensidad de sonido, frecuencia de sonido, campo magnético, posición, ...) y así poder realizar sencillos experimentos de física en cualquier lugar, incluso en casa. Existen distintas aplicaciones (phyphox, Science Journal, ...) que nos permiten usar estos sensores para realizar experimentos. En esta práctica vamos a utilizar la app phyphox para transformar nuestro teléfono móvil y convertirlo en un laboratorio en nuestra propia casa. Nos familiarizaremos con el uso de phyphox y lo utilizaremos para determinar la velocidad del sonido utilizando la utilidad sonar que incorpora la propia aplicación.



Lo primero es instalar phyphox en vuestro propio teléfono móvil y familiarizaros un poco con la aplicación. Las instrucciones para ello podéis encontrarlas en la web (<https://phyphox.org/>), donde también hay una lista de posibles experimentos.

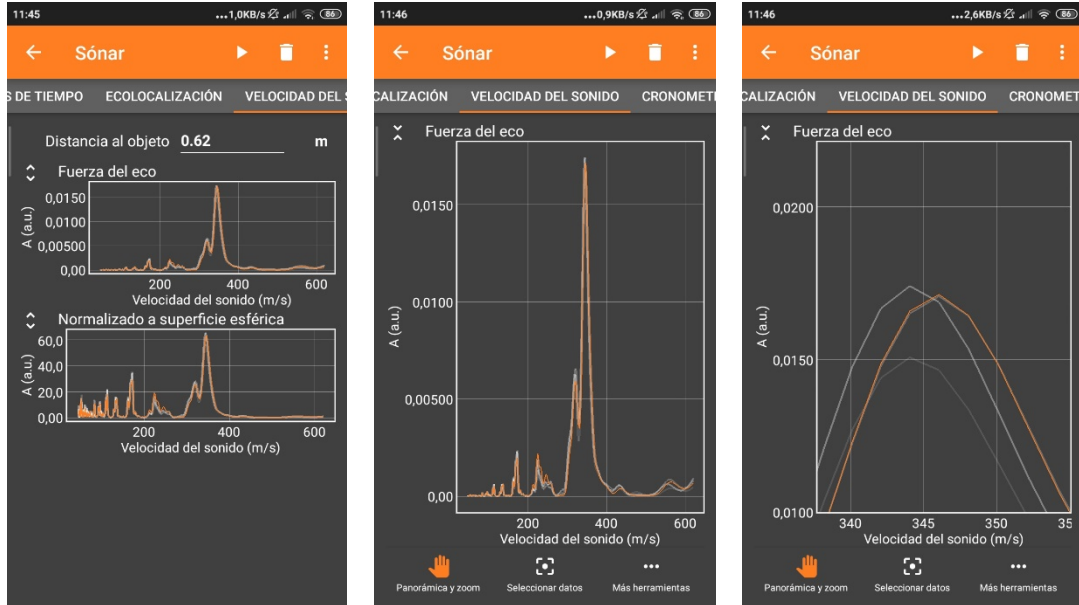
El experimento Sonar incorporado en la aplicación nos permite utilizar los ecos de un sonido para medir distancias (si conocemos la velocidad del sonido) o determinar la velocidad del sonido (conociendo la distancia del objeto que genera el eco). El experimento Sonar emite sonidos de corta duración a través del altavoz del teléfono y registra los ecos con el micrófono. Muestra en un gráfico las distancias a las que se generan los ecos recibidos.

Montaje experimental: Si bien, en teoría, el teléfono puede realizar este experimento por sí solo, es casi imposible interpretar los ecos generados en una habitación cualquiera. El suelo, el techo, cada pared y cada objeto contribuirán al resultado. Por lo tanto, debemos proteger todas las direcciones del teléfono (desde su altavoz y micrófono) que no necesitamos para eliminar ecos molestos. Debe haber poco ruido ambiental durante el experimento. Simplemente hablar ya puede perturbar los resultados.

Aunque no es necesario, es posible utilizar la interfaz remota desde un segundo dispositivo (PC, tableta, teléfono inteligente, etc.) para controlar el experimento y obtener los resultados, sobre todo si en el montaje experimental el teléfono no es fácilmente accesible. Es posible también (pero no necesario) mejorar el experimento utilizando un micrófono externo y / o un altavoz externo, especialmente si están dirigidos.

Para el montaje experimental hay que colocar el teléfono antes de comenzar el experimento de manera que sólo (o preferentemente) pueda escuchar (recibir) los ecos definidos en los que estamos interesados. ¡Asegúrate de subir el volumen del teléfono! Escucharás un chasquido o

chirrido y deberías ver los datos obtenidos en el gráfico. Probablemente todavía verás múltiples señales de ecos irrelevantes, pero si mueves una superficie reflectante (como una placa plana) deberías ver que uno de los picos se mueve en consecuencia.



Observarás varias curvas, la naranja es la actual y las grises son las anteriores. Cuando la diferencia sea pequeña podemos parar la medida. Tocando el gráfico en la pantalla podemos entrar en él y hacer zoom, seleccionar datos, exportarlos a un fichero... (ver figura).

Análisis de resultados: El ruido que emite el teléfono es un chirrido, una función sinusoidal que cambia su frecuencia rápidamente. En este caso, aumenta de 1 kHz a 4 kHz en un período de 5 ms. Además, se aplica una función de ponderación para permitir un comienzo y un final suaves del chirrido. El chirrido se repite cinco veces a intervalos de aproximadamente 30 ms.

La grabación del eco se ejecuta simultáneamente. Phyphox calcula la correlación cruzada de los cinco chirridos y la grabación. El resultado nos dice en qué medida la grabación se parece al chirrido original en un momento dado. El comienzo del experimento se establece en $t=0$, y el tiempo en el eje x se multiplica por la velocidad del sonido y se divide por 2 para obtener la distancia correspondiente de los ecos. Podemos igualmente estimar la velocidad del sonido a partir de la medida de la distancia al objeto que produce el eco, y esto es lo que haremos.

Realiza 4 medidas de la velocidad del sonido, mejor si es posible variando la distancia al objeto que produce el eco.

Problemas y soluciones

- Muchos picos aleatorios. Esto puede ser causado por un fuerte ruido de fondo. Intenta hacer este experimento en un ambiente tranquilo.
- Muchos picos en posiciones fijas. Si aparecen muchos picos que están siempre a la misma distancia (mientras el teléfono permanece en el mismo lugar), debes intentar mejorar la

protección del entorno del altavoz y micrófono (“guiando” el sonido hacia el objeto de interés), ya que probablemente se originen de otros objetos que reflejan el sonido.

- Curvas gris y naranja que cambian constantemente en tiempo: probablemente debido a ruido ambiental, o movimiento del móvil.
- Identificar la posición del micrófono y altavoz del móvil empleado, es importante a la hora de determinar las distancias, y también de gran ayuda a la hora de usar alguna guía para dirigir el sonido hacia el objeto o superficie que devuelve el eco.

Informe de resultados:

En líneas generales, tienes que elaborar un informe en el formato aprendido ya en el Laboratorio, con todos sus apartados. Ya que esta práctica no tiene un guión convencional, ni todos los alumnos disponen de los mismos medios, tienes bastante libertad en inventar cambios y mejoras. Puedes hacer uso de distintas funcionalidades del PhyPhox y su apartado del Sonar.

Procura incluir capturas de pantalla de tus medidas, alguna curva de correlación extraída, como ejemplos ilustrativos, así como un valor de tu estimación de la velocidad del sonido y su incertidumbre. Debes incluir el cálculo de incertidumbre. Comenta la comparación de tus resultados con el valor bien conocido de la velocidad de sonido en el aire.

Incluye también una breve descripción de tu montaje experimental (con foto si es posible) y otro párrafo describiendo las dificultades experimentales y cómo has hecho para mejorar la medida.

Determinación de la frecuencia de batido en ondas sonoras

Introducción

En esta práctica se va a utilizar el móvil para identificar y cuantificar los batidos o pulsaciones en ondas sonoras. Para ello se va a hacer uso de la aplicación para móviles Phyphox (<https://phyphox.org>) que permite usar distintos sensores del móvil para realizar experimentos de física y que además, visualiza e incluso graba los datos de dichos experimentos, de manera que pueden ser exportados y analizados con detalle por el usuario.

En este caso, no serviremos del micrófono del móvil. El experimento propuesto aquí está basado en el experimento propuesto en <https://phyphox.org/news/homelabchallenge-beating/>. Por tanto, lo primero de todo será que el estudiante se descargue la aplicación de phyphox en un teléfono móvil.

Fundamento teórico

El fenómeno de batido o pulso en ondas sonoras armónicas aparece debido a la interferencia de ondas armónicas de igual amplitud y frecuencia y longitud de onda ligeramente distintas. Como consecuencia, las dos ondas están periódicamente en fase y fuera de fase, de manera que en un punto en el espacio existe una alternancia temporal entre interferencia constructiva y destructiva (gráfica de arriba en Figura 1). La onda resultante en ese punto es una onda sinusoidal de amplitud variable (gráfica de abajo en Figura 1).

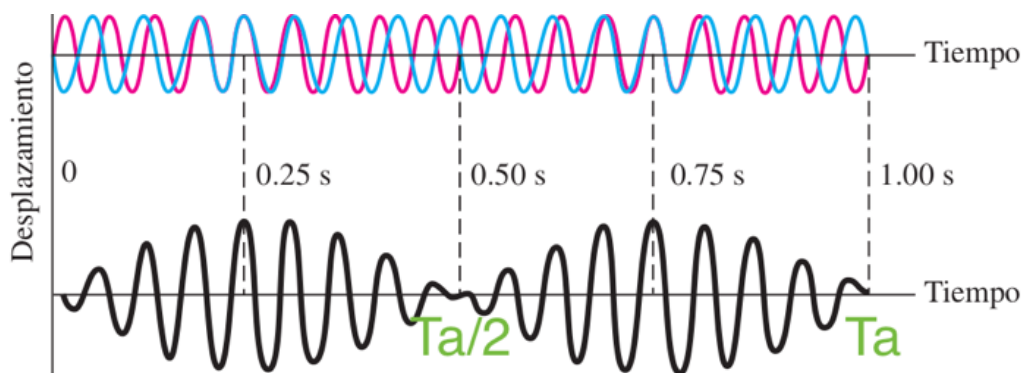


Figura 1. (arriba) Ondas individuales sonoras armónicas (abajo) onda resultante formada por superposición de las dos ondas. Imagen tomada de Sears y Zemanski (2009).

Si escribimos las ecuaciones de las dos ondas individuales y hacemos la suma, obtenemos la expresión de la onda resultante en ecuación (1):

$$\begin{aligned} \Psi &= \Psi_1 + \Psi_2 = A \left[\text{sen } 2 \cdot \pi \left(\frac{x}{\lambda_1} - f_1 t \right) + \text{sen } 2 \cdot \pi \left(\frac{x}{\lambda_2} - f_2 t \right) \right] = \\ &= 2A \cos 2\pi \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) x - \frac{1}{2} (f_1 - f_2) t \right] \cdot \text{sen } 2\pi \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \right) x - \frac{1}{2} (f_1 + f_2) t \right] \end{aligned}$$

Como vemos, la amplitud (en verde en la ecuación 1) seguirá también una variación sinusoidal que dará lugar a variaciones de volumen llamados *pulsos*. El cuadrado de la amplitud (proporcional a la intensidad que el oído percibe) pasa por 2 máximos y 2 mínimos en cada periodo. Por tanto, la *frecuencia de batido o de pulso* (f_p) es el doble de la frecuencia de la modulación de la amplitud:

$$f_p = 2 \cdot \frac{1}{2} (f_1 - f_2) = f_1 - f_2.$$

En este fenómeno se basa la afinación de los instrumentos.

Objetivos

Los objetivos de esta práctica son:

- Familiarizarse con el generador de tonos y el micrófono del móvil.
- Visualizar la interferencia de dos ondas armónicas sonoras de frecuencia y cuantificar los pulsos resultantes.

Metodología y montaje experimental

Material

-3 smartphones o tablets (alguno de ellos se puede sustituir por un ordenador).

Descripción del experimento

Para realizar este experimento necesitaremos 3 smartphones o tablets en los que hayamos descargado la aplicación phyphox, dos servirán para generar dos ondas armónicas y el tercero para visualizar la señal resultante.

Para generar cada onda armónica utilizaremos el generador de tonos, donde podemos seleccionar la frecuencia de la onda (ver figura 2).

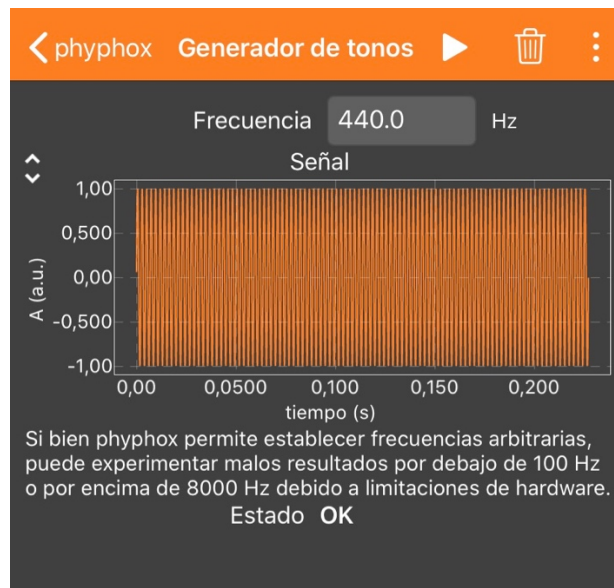


Figura 2. Captura de pantalla del generador de tonos para una frecuencia de 440Hz.

En el caso de que no se dispongan de 3 smartphones o tablets, podemos sustituir alguno de ellos por un ordenador en el que podremos encontrar en internet generadores de tonos online gratuitos como por ejemplo <https://tecnoedu.com/Pasco/GeneradorTonosOnline.php>

Antes de comenzar a detectar los pulsos, comprobaremos que la frecuencia que fijamos en el generador de tonos de cada uno de los smartphones es la misma que la que capta el dispositivo que va a visualizar el sonido. Para ello, utilizaremos la opción de autocorrelación de audio del phyphox (figura 3). De esta manera, se permite una primera estimación de los errores en la generación del tono y/o en la medición de la frecuencia del tono en el dispositivo, que tendremos en cuenta en la discusión de los resultados. Esto es sobre todo importante, cuando alguno de los dispositivos ha sido sustituido por un ordenador u otro dispositivo para generar la onda sonora sin usar la aplicación phyphox. Además, el estudiante se familiariza con otras aplicaciones del phyphox.

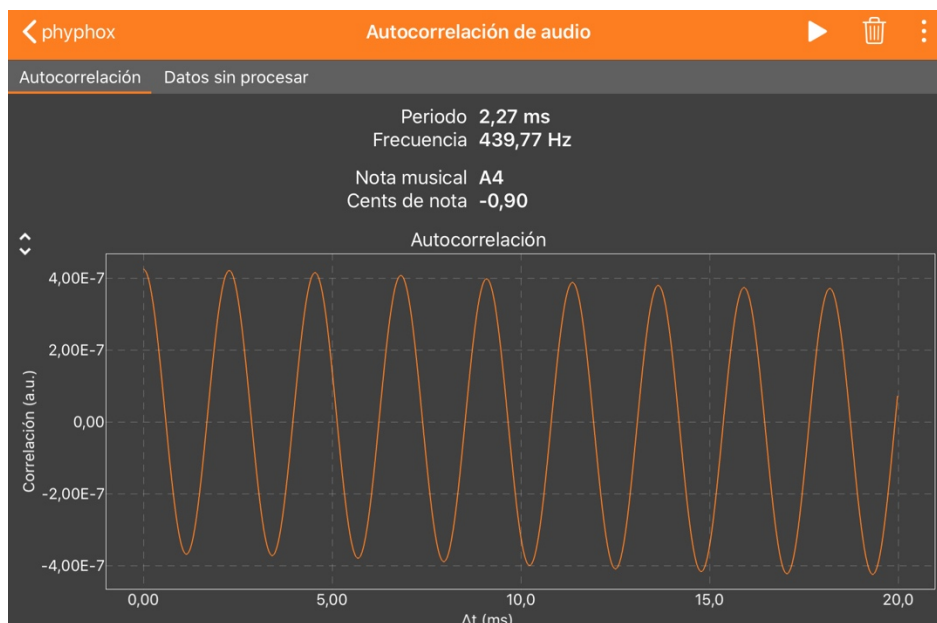


Figura 3. Ejemplo del uso de la autocorrelación de audio para la medida de la frecuencia de un solo tono.

Finalmente, generamos las ondas de frecuencias similares y visualizamos la onda resultante en el tercer dispositivo mediante el visualizador de audio. Elegir en la duración del visualizador de audio 500.0 ms para que nos permita ver varios de esos pulsos con claridad. En un primer experimento, seleccionaremos 440Hz y 445Hz para cada uno de los smartphones. Podemos guardar los datos del visualizador de audio en un archivo .xls o .csv, seleccionando exportar datos.

A continuación, mantenemos fija la frecuencia de 440Hz en uno de los dispositivos y modificamos la frecuencia del segundo dispositivo para los siguientes valores: 450 Hz, 430Hz y 800Hz. Finalmente, repetiremos el experimento para todos esos valores.

No obstante, antes de realizar el experimento, el estudiante debe contestar a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué pasará si aumentamos la frecuencia del segundo teléfono? ¿Y si la disminuimos?
2. ¿Qué sucederá si la segunda frecuencia es 800Hz?

Resultados

1. Comparación de la medida de las frecuencias de las ondas obtenidas con la autocorrelación de audio con la impuesta en el generador de tonos.

Tabla 1. Frecuencias de las ondas impuestas en el generador y las correspondientes medidas con la autocorrelación de audio.

Frecuencia en el generador (Hz)	Frecuencia medida por phyphox (Hz)
440 ± 1	439.77 ± 0.01
445 ± 1	444.87 ± 0.01
450 ± 1	450.08 ± 0.01
430 ± 1	429.92 ± 0.01

$$800 \pm 1$$

$$799.83 \pm 0.01$$

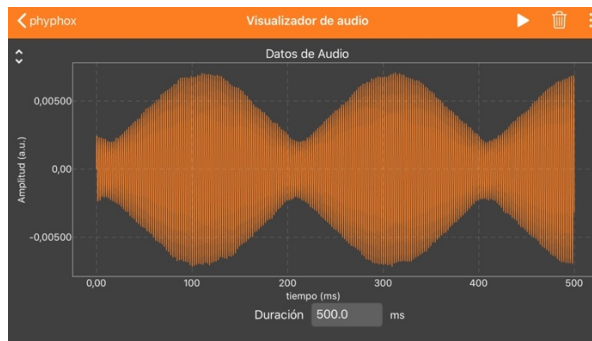
Se puede ver que el valor medido por el phyphox está dentro de la frecuencia impuesta en el generador. Por tanto, se comprueba la fiabilidad de la señal a pesar de no haber usado en mi caso, el generador de tonos de phyphox en todos los dispositivos.

2. Visualización de los pulsos de las ondas. Discusión de resultados.

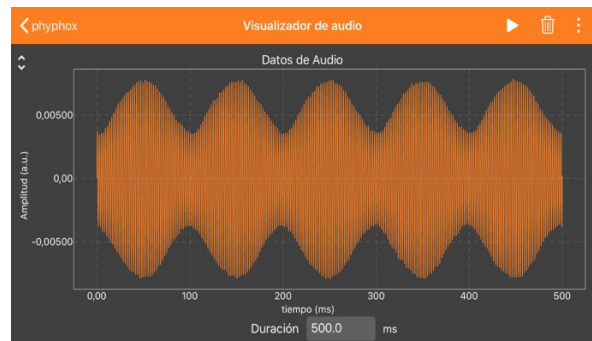
En primer lugar, al poner los dos generadores de tonos a funcionar, podemos escuchar una sola señal, pero con una ligera variación en la amplitud con el tiempo en los 3 primeros casos. Sin embargo, en el último caso la percepción es distinta, ya que estamos reproduciendo a la vez dos sonidos de frecuencias muy distintas. Estas percepciones las podemos corroborar con las capturas de pantalla del visualizador de audio del phyphox (figura 4). También podemos comprobar que el caso 2 y el caso 3 son prácticamente idénticas, ya que la diferencia relativa de las frecuencias de las dos ondas sonoras es la misma (10Hz).

Se adjuntan las capturas de pantalla del visualizador de audio para cada par de frecuencias.

Caso 1: $f_1=440\text{Hz}$ y $f_2=445\text{Hz}$



Caso 2: $f_1=440\text{Hz}$ y $f_2=450\text{Hz}$.



Caso 3: $f_1=440\text{Hz}$ y $f_2=430\text{Hz}$.



Caso 4: $f_1=440\text{Hz}$ y $f_2=800\text{Hz}$

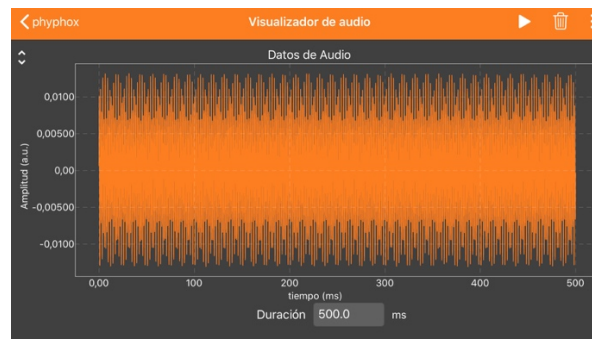


Figura 4. Capturas de pantalla del visualizador de los cuatro casos de estudio.

3. Determinación de la frecuencia de batido en cada uno de los casos de estudio

En este último apartado, el estudiante se vale de los valores de tiempo y amplitud de la onda para obtener la frecuencia de batido. Para ello, simplemente se tiene que medir el tiempo transcurrido entre dos crestas.

Caso 1: $f_1=440\text{Hz}$ y $f_2=445\text{Hz}$

Teóricamente, la frecuencia de batido será igual a la diferencia de las frecuencias de las dos ondas: $f_{pT} = 445\text{Hz} - 440\text{Hz} = 5\text{Hz}$.

Experimentalmente, la primera cresta se produce en $t = 112.8 \pm 0.1$ ms y la segunda en $t = 312.8 \pm 0.1$ ms, por tanto, el periodo de la onda es de 200.0 ± 0.1 ms y con ello, la frecuencia será $f_{pE} = (5000.0 \pm 2.5) \cdot 10^{-3}$ Hz. Coincide exactamente con el valor teórico.

Caso 2: $f_1 = 440\text{Hz}$ y $f_2 = 450\text{Hz}$

Teóricamente: $f_{pT} = 450\text{Hz} - 440\text{Hz} = 10\text{Hz}$.

Experimentalmente, la primera cresta en $t = 51.7 \pm 0.1$ ms y segunda cresta en $t = 151.7 \pm 0.1$ ms. El periodo de la onda es 100.0 ± 0.1 ms y la $f_{pE} = (10.00 \pm 0.01)$ Hz. Coincide de nuevo exactamente con el valor teórico.

Si se usan las otras crestas, se obtiene lo mismo, ya que la tercera, cuarta y quinta cresta está en $t = 251.7 \pm 0.1$, 351.7 ± 0.1 y 451.7 ± 0.1 ms, respectivamente.

Caso 3: $f_1 = 440\text{Hz}$ y $f_2 = 430\text{Hz}$

Teóricamente: $f_{pT} = 440\text{Hz} - 430\text{Hz} = 10\text{Hz}$

Experimentalmente, la primera cresta en $t = 63.4 \pm 0.1$ ms y segunda cresta en $t = 163.4 \pm 0.1$ ms. El periodo de la onda es 100.0 ± 0.1 ms y la $f_{pE} = (10.00 \pm 0.01)$ Hz

De nuevo, al usar las otras crestas se obtiene el mismo resultado. Además, comprobamos experimentalmente que lo importante en la frecuencia de batido es la diferencia relativa de las frecuencias de ambas señales.

Caso 4: $f_1 = 440\text{Hz}$ y $f_2 = 800\text{Hz}$

En este caso, las frecuencias son muy dispares y por tanto, no se observa el mismo patrón en la señal resultante y no se producen batidos o pulsos como en los casos anteriores. Se invita al estudiante a poder analizar la señal obtenida con otras herramientas de phyphox.

Comentarios finales

Esta práctica constituye un experimento muy simple en el que los estudiantes sólo necesitan un par de dispositivos para poder visualizar los pulsos en ondas sonoras (contenidos de la asignatura de Fundamentos de Física II). A pesar de la simpleza del experimento, los resultados obtenidos son de alta calidad y se ajustan completamente a lo esperado por la teoría. No hay dificultades a resaltar en este experimento salvo por el hecho quizá de disponer de tres dispositivos para la generación de las señales y la toma de medidas.

El estudiante deberá realizar un informe similar al que está acostumbrado que incluya introducción, montaje experimental y material, resultados, discusión de resultados y conclusiones. Además, se le invitará a que utilice otras opciones de phyphox para el análisis de otras características de las señales obtenidas.

Determinación del movimiento y disipación de energía en colisiones inelásticas.

En la actualidad el servicio que nos proporcionan los teléfonos móviles va mucho más lejos de para lo que en un principio se ideó. Su gran portabilidad y rápidos procesadores integrados son capaces de ofrecer las posibilidades de servir como pequeños laboratorios de fenómenos físicos. Para poder usar dichas posibilidades debemos contar con una aplicación (como Phyphox) que recoja y evalúe las magnitudes accesibles a través de los sensores del teléfono.

Diversos teléfonos móviles dispondrán de distintos sensores que pueden llegar a ser: acelerómetro lineal, acelerómetro, giróscopo, magnetómetro, barómetro, termómetro, micrófono, sensor de humedad, de luminosidad, GPS/localización o/y de proximidad. Phyphox muestra que la desviación estándar promedio en los sensores acelerómetros, giróscopos y magnetómetros son 0.013 m/s^2 y de 0.00078 rad/s y $0.34 \mu\text{T}$ respectivamente. Más información sobre la dispersión estadística y precisión de las medidas en cada uno de los modelos de teléfono móvil se puede encontrar en las siguientes páginas: <https://phyphox.org/sensordb/stats.php> y <https://phyphox.org/sensordb/> respectivamente.

Estos sensores constituyen los diferentes canales de entrada de información mientras que la salida desde el dispositivo móvil es principalmente a través del altavoz y del Bluetooth. La exportación de los datos registrados por los sensores está disponible en formato (CSV) y Excel (xls) para posterior análisis.

Un sensor de entrada que siempre está incluido en la mayoría de los teléfonos móviles es el micrófono, el cual nos permite realizar prácticas como la de colisión inelástica (ver como seleccionarla en la figura).

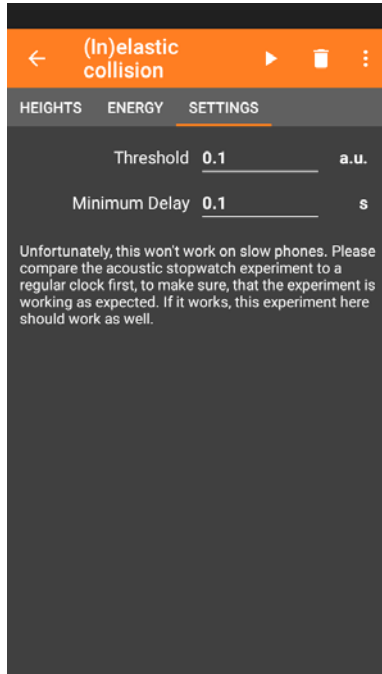


“Colisión inelástica” en Phyphox:

En esta práctica vamos a determinar de manera sencilla el movimiento y disipación de energía de una pelota botando sobre una superficie homogénea. Cada impacto de la pelota en el suelo va a crear un sonido que será registrado temporalmente por el micrófono del teléfono. Si suponemos despreciable la resistencia de la pelota y el aire podemos considerar el movimiento entre impactos dado por la expresión de caída libre (usando $g=9.81 \text{ m/s}^2$). Así podremos determinar la altura máxima en dicho recorrido a partir del tiempo entre sucesivos impactos. Dado que la energía total de la pelota es proporcional a la altura máxima podremos obtener también la pérdida inelástica en cada impacto dividiendo las alturas máximas. Problema que será resuelto completamente después de estimar la altura inicial. Dicha altura máxima inicial se calculará a partir de los primeros 3 impactos y considerando una pérdida energética en el impacto 1 igual a aquella antes y después del impacto 2. El tiempo del impacto 3 se necesita para obtener la energía después del impacto 2.

Realización de la práctica/Montaje experimental:

Como anteriormente comentado el único sensor necesario para realizar esta práctica es el micrófono. Este determinará la experiencia a partir de dos valores que tendremos que indicar teniendo en cuenta el ruido ambiente y el tiempo entre sucesivos impactos de la pelota (que dependerá de su capacidad elástica y altura inicial).



El valor mínimo de sonido a partir del cual el impacto es registrado ('threshold') es por defecto 0.1 a.u. y deberá aumentar si nos encontramos en un ambiente ruidoso. El tiempo mínimo entre impactos está indicado como 0.1 s que es adecuado para alturas iniciales de alrededor de 1 metro y pelotas que muestren un impacto elástico.

Discusión antes de la realización de la práctica:

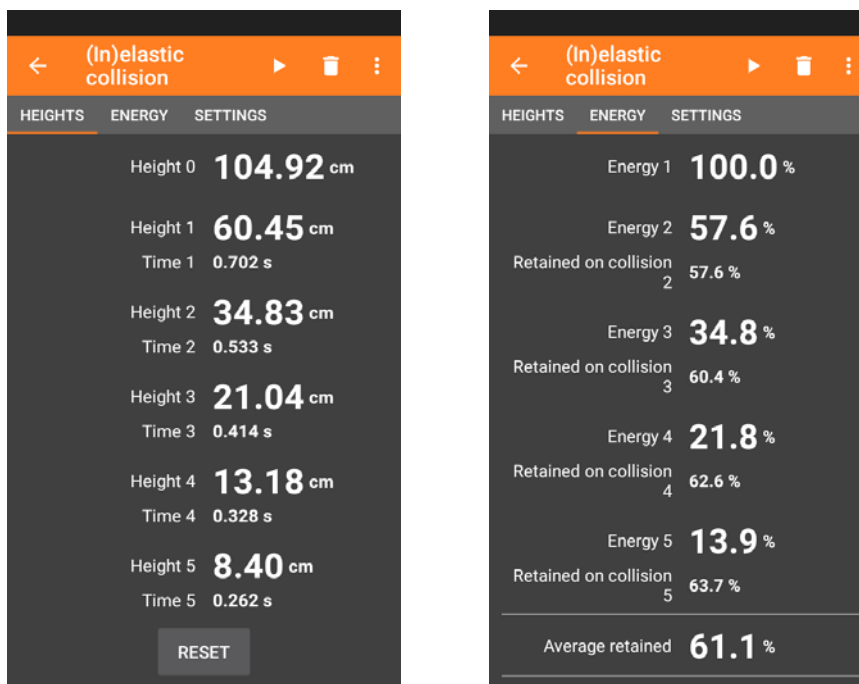
En función de lo indicado sobre la práctica y lo intuitivo del experimento podemos ahora responder una serie de cuestiones sobre cómo de adecuadas son las siguientes aproximaciones:

- 1) El movimiento es de caída libre entre impactos sucesivos de la pelota.
- 2) La aproximación del programa para calcular la altura inicial del experimento (después conviene verificarlo con un metro).
- 3) Considerar constante el coeficiente inelástico.

Discusión después de la realización de la práctica:

La realización de la práctica se puede efectuar en función de los materiales y tamaños de distintas pelotas y de la altura inicial desde donde las dejamos caer. 3 materiales (goma, plástico, y de ping-pong) y 3 alturas (entre 0.5 y 2 m) resulta ser suficiente.

A continuación, indico dos capturas de pantalla para ver cómo las magnitudes almacenadas son mostradas.



Después de la realización del experimento podremos responder más concretamente sobre los siguientes aspectos:

- 1) ¿Cual es la velocidad justo antes de los momentos de impacto y como se relaciona entre impactos sucesivos?

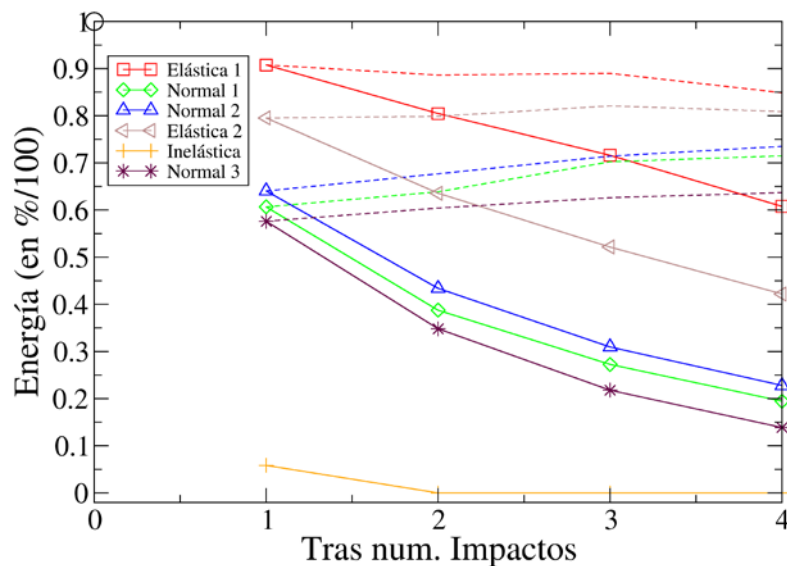
- 2) ¿Cómo varía el coeficiente inelástico en función del número de impactos? ¿Varía en función de la altura inicial?
- 3) Usa el análisis en 2) para proponer mejoras en la estimación de la altura inicial sin necesidad de un metro.

Considerando que la indeterminación en el tiempo de los impactos es 0.001 s y aquella en la aceleración es dada por <https://phyphox.org/sensordb/> para tu teléfono, ¿cuanto es la indeterminación en el valor de la altura máxima y en el coeficiente de pérdida de energía por procesos inelásticos?

Comentario: Disponer de una base de datos sobre la precisión de los sensores de cada teléfono móvil es de gran utilidad. Si te parece, contribuye con otra muestra compartiendo los valores que has obtenido con los desarrolladores de la aplicación (hay un botón al final del menú para ello).

Resultados obtenidos y resolución de cuestiones después de la realización de la práctica:

Hemos considerado usar 6 pelotas constituidas por distintos materiales. En la siguiente figura podemos observar la relación de la energía después de cada impacto en referencia a la inicial (1%/100)



El comportamiento de las 6 pelotas puede ser clasificado en 3 grupos. Los cuadrados rojos y los triángulos marrones muestran un comportamiento más elástico, mientras que las cruces naranjas son claramente inelásticas. La relación de la energía mantenida en el sistema (curvas

punteadas en la figura) varía desde 90% a 5% en las pelotas más elásticas e inelásticas respectivamente, mientras que la franja denominada “normal” está alrededor de 65%. Podemos observar que es bastante buena la aproximación de considerar dichos valores de relación de energía mantenida constante en cada impacto sucesivo. No obstante, dicha relación para las pelotas elásticas decrece con el número de impactos mientras que para las pelotas “normales” crece. Esto, según la aproximación por Phyphox, dará para el cálculo de la altura inicial una sobreestimación (infraestimación) en el caso de las pelotas elásticas (normales).

Respondiendo más concretamente sobre los aspectos propuestos:

- 1) La velocidad justo antes de cada impacto resulta en una energía cinética igual a la energía potencial con la altura máxima (despreciando el rozamiento con el aire). Con impactos sucesivos vemos que la reducción de energía es lineal con la reducción de altura máxima, sin embargo se reduce con el cuadrado de la velocidad máxima.
- 2) El coeficiente inelástico (o relación de la energía mantenida) depende levemente del número de impactos, por lo que la consideración de ser constante es adecuada. Si bien la desviación nos indica que en pelotas con coeficiente inelástico bajo (normal) habrá una sobreestimación (infraestimación) de la altura inicial proporcionada por Phyphox. No hemos observado dependencia con la altura inicial de dicho coeficiente.
- 3) Una mejora propuesta es hacer un ajuste lineal al coeficiente, extrapolar el valor a 0 impactos para poder corregir la disipación de energía adecuadamente y así dar una mejor estimación de la altura inicial.

Dificultades y soluciones surgidas:

Los dos parámetros que controlan el comportamiento del móvil en el experimento son el límite mínimo (“threshold”) para registrar en tiempo del impacto de la pelota y el tiempo mínimo entre registros sucesivos. Debido a valores incorrectos u otros problemas pueden surgir un cierto número de situaciones a solucionar, entre los que hemos encontrado:

- 1) Los tiempos entre impactos crecen en lugar de decrecer. Situación probable: En materiales muy poco elásticos, y de bote bajo, puede que el móvil considere que el ruido ambiente interfiere con el sonido del impacto de la bola. Solución: Aumentar el valor ‘threshold’ desde 0.1 a 0.7 a.u. aproximadamente y lanzar la pelota ligeramente hacia arriba ha mejorado las medidas.
- 2) El móvil no registra valores pese a los impactos de la pelota. Situación probable: No se le ha dado después de presionar el triángulo (‘play’) al botón de ‘reset’. Solución: Presionar ‘play’ y luego ‘reset’ antes de dejar caer la pelota.
- 3) En cada impacto el móvil registra dos o más tiempos. Solución: aumentar el tiempo mínimo entre impactos sucesivos.

Informe de resultados:

Utilizando el modo previamente aprendido en el laboratorio de física realizaremos el informe conforme a secciones como: introducción, montaje experimental, discusión y conclusiones.

Debido a la naturaleza innovadora de esta práctica considerar variadas fuentes de análisis de los resultados que pueden provenir de capturas de pantalla, ajustes de los datos a expresiones matemáticas razonables, etc.

La discusión ha de realizarse entorno al valor propuesto por Phyphox sobre la altura inicial, que es el valor principal en el análisis. Este lo podemos discutir en función de la tendencia del coeficiente inelástico (pérdida de energía) entre impactos sucesivos, extrapolaciones a impacto 0 y otras mejoras posibles, y comparar con las mediciones realizadas con un metro.

Adicionalmente, son agradecidos comentarios sobre cualquier otra situación problemática encontrada (además de las incluidas en la sección de “problemas y soluciones”) y como se ha hecho para resolverla.

Presión en una bolsa

Introducción

Se trata de un experimento sencillo que se puede realizar en casa ya que utiliza solo material que podemos encontrar fácilmente. Está basado en <https://phyphox.org/news/homelabchallenge-pressure/>. Otra posible experimento casero con el barómetro es medir el cambio de presión en una habitación o en el coche al cerrar la puerta de golpe. Este experimento se podría adaptar al entorno del laboratorio y hacerlo más complejo utilizando émbolos, midiendo el efecto de cambios de temperatura o volumen de un gas sobre la presión.

Fundamento teórico

El peso de un cuerpo es la fuerza de atracción gravitatoria que este ejerce sobre la superficie terrestre (y viceversa), y se obtiene multiplicando la masa por la aceleración de gravedad

$$F = m g \quad (1)$$

donde m es la masa y en la superficie terrestre $g = G M_T / R_T^2 = 9.81 \text{ m/s}^2$, siendo G la constante de gravitación universal, y M_T y R_T la masa y el radio de la Tierra, respectivamente.

La presión es la fuerza por unidad de superficie:

$$P = F / S \quad (2)$$

y se mide en Pascales en el S.I. ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$).

La presión atmosférica es el peso por unidad de superficie de la columna de aire con una altura de toda la atmósfera. Por tanto, la presión atmosférica depende de la altitud además de las condiciones meteorológicas. Así, la presión atmosférica media en la estación del Retiro de Madrid, situada a unos 667 m por encima del nivel del mar, es de 940 hPa en promedio para la estación meteorológica del Retiro. En el puerto de Navacerrada, a una altitud de 1858 m sobre el nivel del mar, la presión media climatológica anual es de 812 hPa. Datos meteorológicos correspondientes al periodo 1985-2012, tomados de (<https://www.madrid.org/iestadis/fijas/coyuntu/otros/clpresi.htm>).

El barómetro en los dispositivos móviles inteligentes tiene como objetivo medir la presión atmosférica para determinar la altitud y complementar al GPS en la obtención del posicionamiento en algunas aplicaciones. La aplicación Phyphox permite obtener las medidas de presión directamente, en función del tiempo, en unidades de hPa (ver Figura 1).

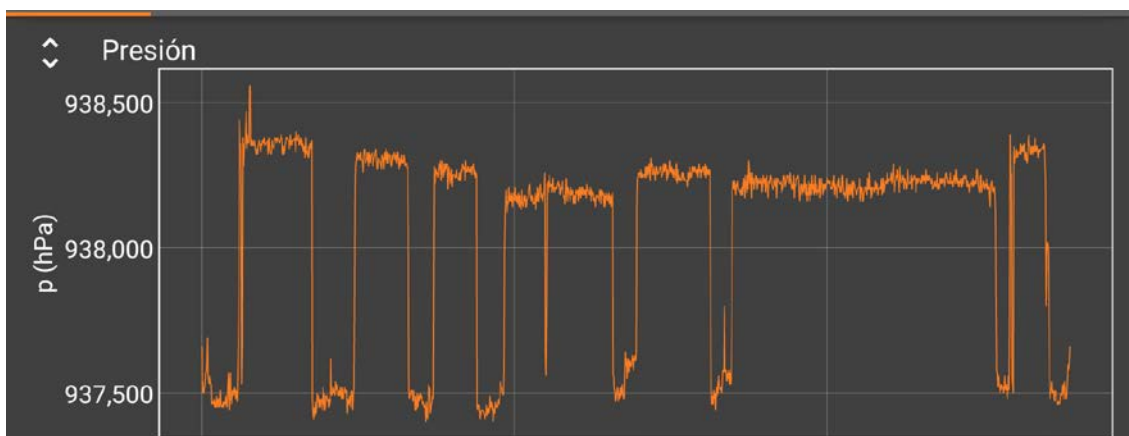


Figura 1:
Captura de pantalla de la aplicación Phyphox

tras tomar distintas medidas de presión dentro de una bolsa. Esta figura es a modo de ejemplo, las medidas han sido tomadas de manera independiente para cada base.

Objetivos

- Familiarizarse con el barómetro del móvil
- Asentar conceptos de presión y presión atmosférica

Montaje y método experimental

Montaje:

- Bolsa con cerradura hermética (zip-bag)
- Cuerpo pequeño de masa desconocida, mejor con base plana (despertador, vaso pequeño...)
- Trozos de cartón recortados de distintos tamaños conocidos.
- Un trozo de cartón de superficie irregular desconocida.

Método:

- Medir la presión atmosférica fuera de la bolsa
- Introducir el móvil en una bolsa con cerradura hermética (zip-bag). Ver Figura 1.
- Soplar para introducir aire y cerrar antes de que se salga
- Medir la presión dentro de la bolsa
- Medir la presión con el barómetro del Phypox colocando el cuerpo problema sobre cada una de las bases
- Volver a medir la presión dentro de la bolsa sin peso
- Volver a medir la presión fuera de la bolsa



Figura 1. Foto del montaje experimental. La masa problema es un despertador en este caso.

Resultados experimentales

1- Representar gráficamente los datos medidos. Obtener la presión como el valor medio para un intervalo de tiempo igual para todas las superficies, y obtener la incertidumbre de las medidas a partir de los errores sistemático y aleatorio de las medidas. Analizar los resultados.

Medida	Descripción o superficie base (cm ²)	Presión (hPa)
1	Fuera de la bolsa, inicial	934.831 ± 0.010
2	Dentro de la bolsa, inicial	934.867 ± 0.010
3	25.0 ± 1.0	935.696 ± 0.010
4	36.0 ± 1.2	935.644 ± 0.010
5	X (49.0 ± 1.4)	935.603 ± 0.010
6	64.0 ± 1.6	935.551 ± 0.010
7	81.0 ± 1.8	935.533 ± 0.010
8	100.0 ± 2.0	935.490 ± 0.010

9	Dentro de la bolsa, final	934.855 ± 0.010
10	Fuera de la bolsa, final	934.868 ± 0.010

Tabla I. Resultados obtenidos para las 10 medidas y sus incertidumbres. Los valores de presión han sido promediados para intervalos de 150 segundos.

En la Tabla I se muestran los resultados obtenidos. La incertidumbre de la superficie se ha obtenido como la de medida indirecta a partir de las medidas directas de los lados del cuadrado:

$$\Delta S = 2 L \Delta L$$

siendo $\Delta L = 0.1$ cm ya que se ha medido con una regla de esta precisión.

La incertidumbre de la presión se obtiene como medida directa:

$$\Delta P = \sqrt{Ea^2 + Es^2}$$

siendo $Es = 0.01$ hPa la precisión del barómetro y $Ea = t_{n-2} \sigma_{n-1} / \sqrt{n}$, con n el número de medidas para cada caso (en nuestro caso $n=843$), y tomando un nivel de confianza del 95%.

La Figura 2 muestra las medidas obtenidas de la presión en función del tiempo para los distintos casos. Se observa que a medida que la superficie de la base aumenta, la presión medida disminuye, como cabe esperar por la ecuación (2), ya que m y por tanto F se mantiene constante.

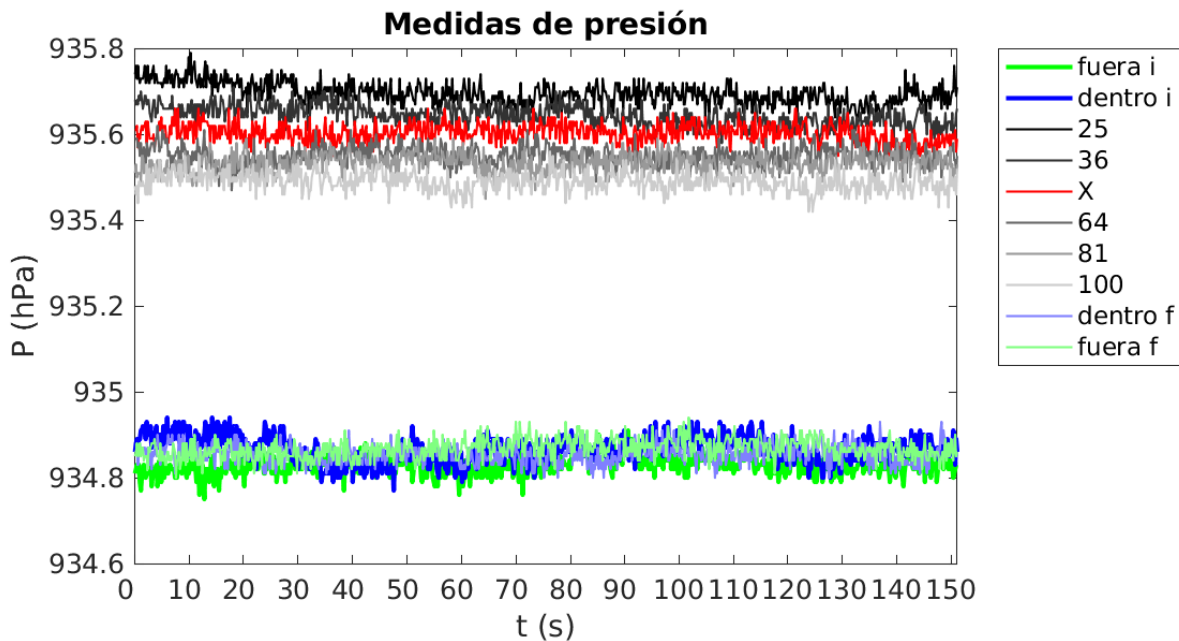


Figura 2. Representación gráfica de los datos exportados. Las líneas grises y negras corresponden a las distintas bases conocidas, en orden ascendente de superficie. La leyenda indica el área correspondiente. La base problema se denota en rojo (X). Ver la Tabla 1 para mayor información sobre las medidas.

Podemos comprobar también que la presión dentro y fuera de la bolsa al principio del experimento son muy parecidas, es decir, que la presión añadida por meter el móvil en la bolsa e hincharla es despreciable. Por otra parte, comparando las medidas de presión sin peso añadido dentro de la bolsa al principio y al final del experimento, también vemos que la presión se mantiene muy similar.

2- Obtener la masa del cuerpo problema a partir de una regresión lineal de los datos. Comentar el resultado. ¿Cómo se podría mejorar el montaje experimental para obtener un resultado más exacto?

La Figura 3 muestra la representación de P frente a 1/S. La incertidumbre en 1/S viene dada por:

$$\Delta(1/S) = \Delta S / S^2$$

Se ha realizado el ajuste lineal, obteniendo los siguientes parámetros:

Pendiente: $a = 0.066 \pm 0.022$ N

Ordenada en el origen: $b = 93544.3 \pm 5.2$ Pa

A partir del ajuste lineal de la presión frente la inversa de la superficie podemos obtener la masa del cuerpo ya que:

$$P = mg/S \rightarrow a = mg$$

Despejando obtenemos $m = (6.7 \pm 2.2) \times 10^{-3}$ kg. Podemos ver que es un resultado muy alejado de la realidad y no es compatible con la masa utilizada, que es de $(100 \pm 10) \times 10^{-3}$ kg. También vemos que la precisión de la medida es baja, ya que la incertidumbre relativa es del 33%. Sin embargo. Esto puede ser debido a que el efecto de la masa se refleja solo en parte en un aumento de presión sobre el móvil, ya que el aire se desplaza hacia los lados en la bolsa. Para obtener un mejor resultado podríamos hacer el experimento introduciendo el móvil en un tubo del tamaño del móvil con un pistón o émbolo desplazable sobre el que pondríamos la masa.

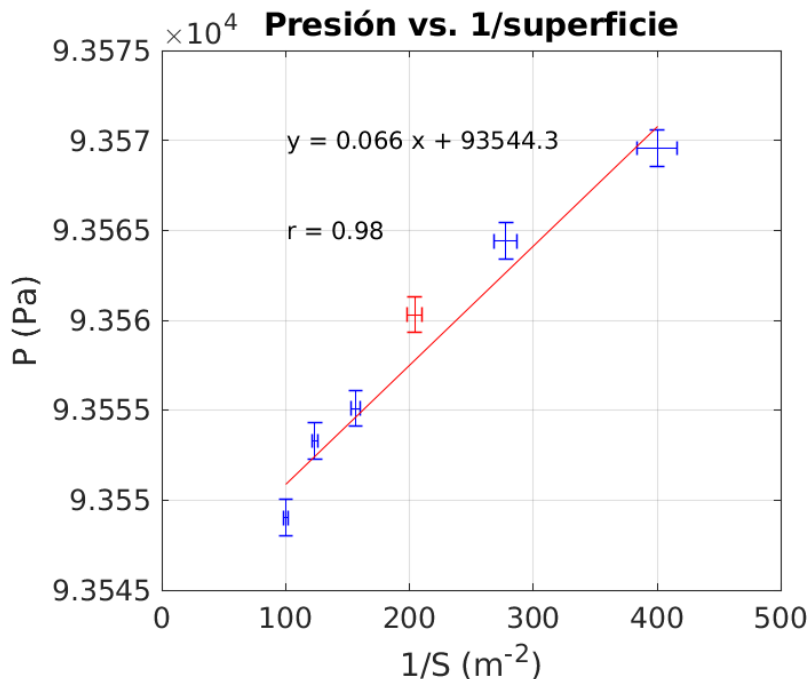


Figura 3. Representación gráfica de la presión frente a la inversa de la superficie, con sus incertidumbres. Se muestra la recta de ajuste lineal y el coeficiente de correlación. El punto rojo corresponde a la superficie problema, y no se ha incluido para hacer el ajuste ni la correlación.

3- Obtener la superficie de la base problema a partir de la regresión lineal del apartado anterior

Se obtiene:

$$S_{\text{prob}} = a / (P_{\text{prob}} - b) = 41 \pm 19 \text{ cm}^2$$

La incertidumbre viene dada por:

$$\Delta S_{\text{prob}} = S_{\text{prob}} \sqrt{[\Delta a / a]^2 + [\Delta P_{\text{prob}} / (P_{\text{prob}} - b)]^2 + [\Delta b / (P_{\text{prob}} - b)]^2}$$

El valor obtenido se acerca bastante al valor real ($49.0 \pm 1.4 \text{ cm}^2$), y está incluido en el intervalo de error obtenido. Sin embargo, la precisión de esta medida es muy baja, con un error relativo del 46%.

4- A partir de la presión atmosférica en el momento de la medición, calcular la masa de aire que soportamos debido a la presión atmosférica, aproximando la superficie de nuestra cabeza a un círculo de radio 10 cm.

Para la presión atmosférica hemos obtenido un valor de 934.86 hPa, promediando los cuatro valores sin masa. Está dentro de los márgenes de la presión atmosférica en Madrid dados en la introducción. Para hallar la masa de la columna de aire solo tenemos que sustituir la presión atmosférica obtenida en la expresión:

$$M_{\text{aire}} = F / g = P_0 S / g = (P_0 / g) \times S = 9.557 \times 10^3 \text{ kg/m}^2 \times \pi r^2 = 299 \text{ kg}$$

Es decir, ¡soportamos sobre nuestras cabezas constantemente un peso de unos 300 kg!

Conclusión

El valor obtenido para la masa se aleja mucho del valor real y no es compatible. Esto puede ser debido al montaje experimental, y se podría mejorar utilizando un tubo del tamaño del móvil. Podemos suponer que el efecto es mayor cuanto más grande sea la bolsa que utilizamos. Por otra parte, el ajuste lineal de las medidas es bueno, con un coeficiente de correlación de 0.98.

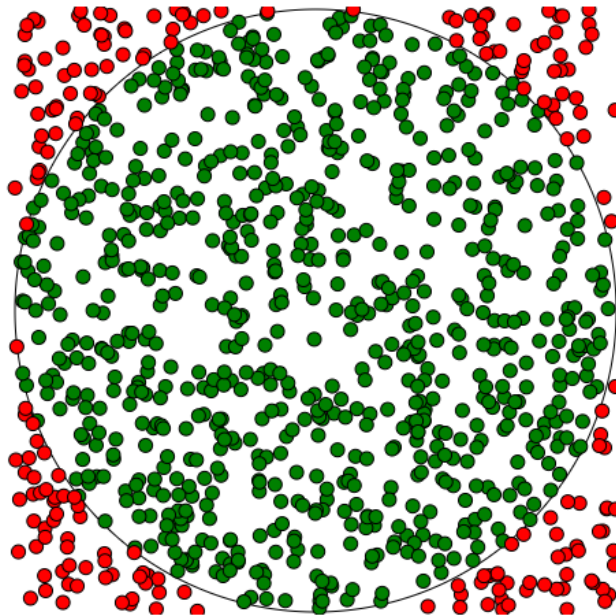
Estimando el valor de π usando el método de Monte Carlo

Método de Monte Carlo

Los métodos de Monte Carlo son algoritmos computacionales que consisten en muestrear repetida y aleatoriamente para la obtención de resultados numéricos. La estimación del número π es uno de los ejemplos más sencillos del uso de métodos de Monte Carlo.

Estimación de π

La idea es simular repetidamente y de forma aleatoria un conjunto de puntos (x,y) en el cuadrado definido por el dominio $-1 < x < 1$, $-1 < y < 1$. La fracción de puntos simulados que están dentro del círculo inscrito en el cuadrado, respecto del total de puntos simulados, tiende al cociente entre las áreas del círculo y el cuadrado ($\pi/4$) cuando el número de puntos simulados tiende a infinito (ver figura).



Al utilizar este algoritmo sencillo, ni siquiera es necesario ver gráficamente los puntos. Basta con, para cada punto (par x,y) generado, verificar si su distancia al centro del cuadrado es menor que 1, es decir, si está dentro del círculo imaginario inscrito en el cuadrado. Si es así, incrementamos la cuenta del número de puntos dentro del círculo. En los algoritmos de tipo Monte Carlo, cuanto mayor sea el número de iteraciones aleatorias más preciso el resultado. En el anexo se incluye el código de un programa en Python para estimar el número π . En dicho programa se realizan $n_1=10000$ iteraciones para la estimación.

El programa realiza este cálculo $n_2=10000$ veces, obteniendo así 10000 estimaciones distintas del número π . Utilizando estas n_2 estimaciones, obtenemos la mejor estimación como la media aritmética, y la desviación estándar para la media, dibujando la distribución en un histograma tal y como se muestra en la figura.

La figura muestra como la distribución aleatoria tiende a una distribución normal, tal como se espera, centrada en el valor real de π , cuando el número de repeticiones n_2 tiende a infinito.

Este sencillo programa ayuda a los estudiantes a entender y visualizar la teoría estadística y los métodos de inferencia que aprenden para estimar la incertidumbre experimental en las medidas experimentales.

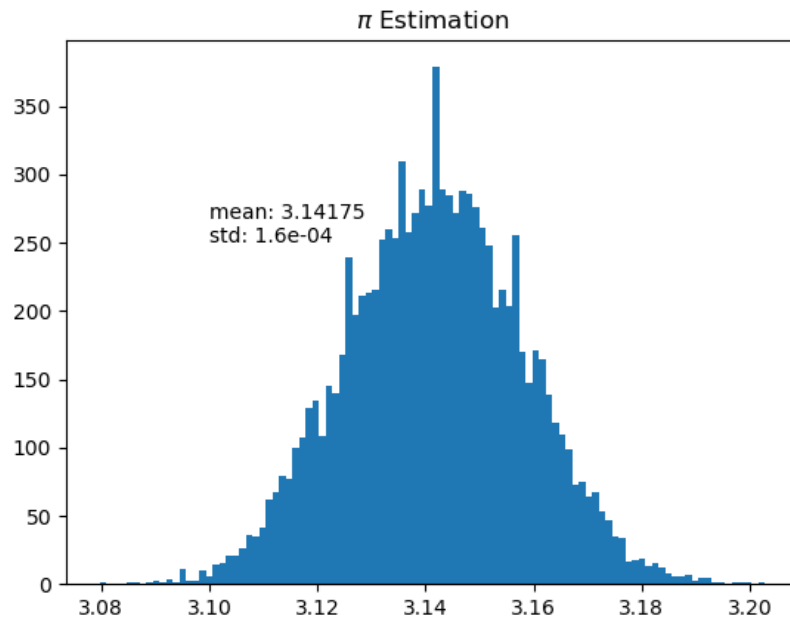
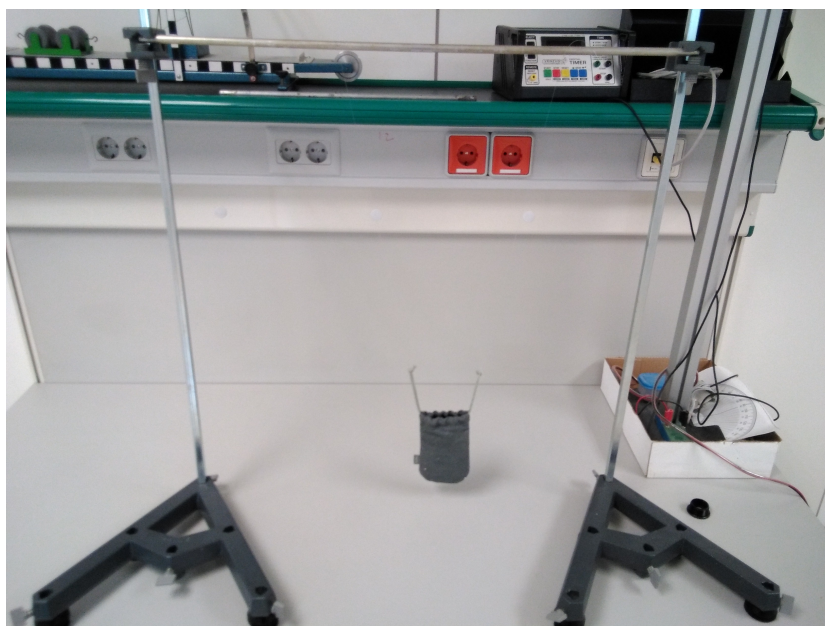


Imagen del montaje de Pendulo para sujetar el movil



CODIGO PYTHON DEL PROGRAMA UTILIZADO PARA ESTIMAR EL VALOR DE π

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
"""
```

```
import numpy as np
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import random
```

```
pi_vals = np.array([])
```

```
def pi_estimator(n):
```

```
    """
```

```
    Estimates value of pi by considering values of x,y which lie inside a  
    circle of radius 1, and those lying outside the circle
```

```
    """
```

```
    i = 0
```

```
    j = 0
```

```
    while i<=n:
```

```
        i +=1
```

```
        x,y = random.random(),random.random()
```

```
        r2 = x**2 + y**2
```

```
        if r2 <=1:
```

```
            j += 1
```

```
    pi_estimate = 4*(j/i)
```

```
    return pi_estimate
```

```
def gauss(x,m,s):
```

```
    return np.exp(-((x-m)/s)**2)
```

```
n1 = 10000
n2 = 10000

while len(pi_vals) <= n2:
    pi = pi_estimator(n1)
    pi_vals = np.append(pi_vals,pi)

pi = np.mean(pi_vals)
std = np.std(pi_vals)/np.sqrt(n2)

text = ""mean: {0:.5f}
std: {1:.1e}"".format(pi,std)

plt.title("$\pi$ Estimation")
plt.hist(pi_vals,int(np.sqrt(n2)))
plt.annotate(text,xy=(3.1,250))
plt.savefig('monte-carlo.png')
plt.show()
```

Data recogida del experimento de la ola mexicana

Las "partículas" se colocan en un círculo, y se varia la conexión entre ellos y el tipo de movimiento

Exp.1: participantes separados ~1m, sin conexión física, se levantan momentáneamente de posición agachado

#partículas	diámetro[m]	~μ[kg/m]	tiempo/vuelta[s]	velocidad[m/s]
41	15	52.2	10	21.71
			8,5	5.54
			8,5	5.54
			8,5	5.54
			8,5	5.54

Velocidad típico: 5.57 m/s

Tensión estimado:

Tensión comparada por peso/participante:

Fuerza promedia estimada para levantarse:

Exp.2: participantes menos separados, de pie, mano-a-mano, se levantan momentáneamente la mano

#partículas	diámetro[m]	~μ[kg/m]	tiempo/vuelta[s]	velocidad[m/s]
	17	46.7	9,5	5.62
			9,2	5.8
			6	8.90
			7,8	6.85
			7,8	6.85

Velocidad típico: 6.80 m/s

Tensión estimado:

Tensión comparada por peso/brazo:

Fuerza promedia estimada para subir la mano:

$$A = 2\pi r h + \frac{1}{2} r^2 \theta + \frac{1}{2} r^2 \alpha$$

$$V = \pi r^2 h$$

$$\Delta A = \lambda \Delta V \quad (2\pi r h, \pi r^2)$$

$$(2\pi h + r(\theta + \alpha)) = \lambda (2\pi r h)$$

$$2 = \lambda r$$

$$2\pi h + r(\theta + \alpha) = \lambda (2\pi r h)$$

$$2\pi h + r(\theta + \alpha) = 2\pi r h$$

$$4\pi h$$

$$2\pi h = r(\theta + \alpha)$$

$$h = \frac{r(\theta + \alpha)}{2\pi}$$

$$A = 2\pi r h + \frac{1}{2} r^2 \theta$$

$$V = \pi r^2 h$$

$$\Delta A = \lambda \Delta V$$

$$(2\pi h + 2r\theta, 2\pi r) = \lambda (2\pi r h, \pi r^2)$$

$$2\pi h + 2r\theta = \lambda 2\pi r h$$

$$2\pi r = \lambda \pi r^2 \Rightarrow 2 = \lambda r$$

$$\pi h + r\theta = \pi r h$$

$$r\theta = \pi h \quad h = \frac{\theta r}{\pi}$$

Cambio dos caras

$$\theta = 2\pi$$

$$\theta = 0$$

$$A = \pi r h + \pi r^2$$

$$V = \pi r^2 h$$

$$\Delta A = \lambda \Delta V$$

$$(\pi h + \pi, \pi r) = \lambda (2\pi r h, \pi r^2)$$

$$\pi h = \lambda 2\pi r h$$

$$\pi h + \pi = \lambda (2\pi r h)$$

$$\pi r = \lambda (\pi r^2)$$

$$1 = \lambda r$$

$$h + r = 2h$$

$$h = r$$

(Diámetro igual a la altura)

$$A = 2\pi r h + \pi r^2$$

$$V = \pi r^2 h$$

$$\Delta A = \lambda \Delta V$$

$$(2\pi h + 2\pi r, 2\pi r) = \lambda (2\pi r h, \pi r^2)$$

$$2\pi h + 2\pi r = \lambda 2\pi r h \Rightarrow h + r = \lambda h$$

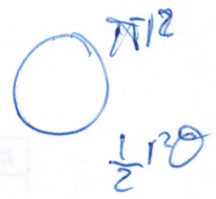
$$2\pi r = \lambda \pi r^2 \Rightarrow 2 = \lambda r$$

$$A = 2\pi r h + \pi r^2$$

$$h + r = 2h$$

$$h = r$$

Altura igual al radio



Exp.3: Longitudinal, participantes menos separados, dirigidos en la misma dirección, con manos sobre hombros delante se empujan suavemente la persona delante

#partículas	diámetro[m]	$\sim\mu$ [kg/m]	tiempo/vuelta[s]	velocidad[m/s]
41	7	111.81	5.2	4.23
			6.6	3.33
			5.7	3.86
			5.4	4.07
			5.4	4.07

Velocidad típico: 3.91^{22}

$$(\pi h, \pi r)$$

$$A = 2\pi r h + 2\pi r^2$$

$$V = \pi r^2 h$$

$$\nabla A = \lambda \nabla V$$

$$(2\pi B h + 4\pi r, 2\pi B r) = \lambda (2\pi r h, \pi r^2)$$

$$2\pi B h + 4\pi r = \lambda 2\pi r h$$

$$h = 2r$$

$$2\pi B r = \lambda \pi r^2$$

$$2B h + 4r = 2$$

$$2B = \lambda r$$

$$B h + 2r = \lambda r h$$

$$B h + 2r = 2B h$$

$$2r = B h$$

$$h = \frac{2r}{B}$$

Tensión estimado:

Tensión comparada por peso de persona:

Fuerza promedio estimada para empujar:

$$B = \frac{1}{2} \pi h$$

Exp.4:

.....

.....

#partículas	diámetro[m]	$\sim\mu$ [kg/m]	tiempo/vuelta[s]	velocidad[m/s]
	13.5	58,00	6.8	6.24
			12	3.53

42.41

Exp.5:

.....

.....

#partículas	diámetro[m]	$\sim\mu$ [kg/m]	tiempo/vuelta[s]	velocidad[m/s]

YA!!

B=1

Grabacion de un Foro de Campus Virtual sobre la Practica: Velocidad de Sonido con PhyPhox

Pico se mantiene constante
a una distancia de
ALUMNO1 - viernes, 10 de
abril de 2020, 16:39

He intentado realizar las medidas usando el apartado de la velocidad del sonido pero encuentro que independientemente de la distancia a la que pongo el objeto siempre el pico mas alto esta a 70 cm. ¿A qué se debe esto?

Re: Pico se mantiene constante a una distancia
de CARLOS LEON YEBRA - viernes, 10 de abril de 2020, 19:09

No entiendo bien tu pregunta. En el modo velocidad de sonido el eje x es directamente la velocidad en m/s. ¿puedes enviar una imagen de la pantalla del teléfono?

Re: Pico se mantiene constante a una distancia
de NORBERT MARCEL NEMES - viernes, 10 de abril de 2020, 19:52

un problema de este experimento es que hay todo tipo de picos debido a muchas posibles reflexiones, no solo lo que nosotros queremos.

tal vez ese pico de 70cm es debido al operador (tu mismo) del móvil.

es una tarea de quien hace el experimento filtrar los efectos/datos erróneos y superfluos, y enfocar la atención a lo relevante.

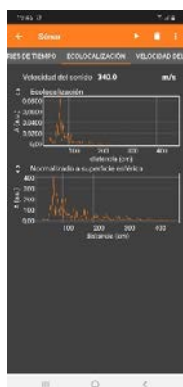
algo así ocurre también en el experimento "oficial" de índice de refracción, donde aparecen varios rayos salientes de la prisma por culpa de múltiples reflexiones, no solo el rayo relevante.

Aquí, ayuda mucho mirar la pantalla que representa los datos (el pico) con el eje x siendo velocidad de sonido.

Sabemos que la velocidad de sonido esta alrededor de 340 m/s, por lo tanto podemos ignorar todos los picos que están lejos de este valor. Por supuesto, para utilizar esa, tenemos que poner aproximadamente correctamente la distancia entre pared y móvil en cada medida. [luego, durante el análisis se puede corregir esa distancia]

Re: Pico se mantiene constante a una distancia
de ALUMNO1 - viernes, 10 de abril de 2020, 19:58

Lo que ocurre es que cuando varío la distancia del objeto el eco más grande siempre está en 70 cm, he cambiado varias veces la configuración y el entorno pero sigue a 70 cm



Re: Pico se mantiene constante a una distancia de ALUMNO1 - viernes, 10 de abril de 2020, 20:00

He intentado filtrar los sonidos con cojines dado que no tengo material aislante como tal, pero no sé si la funda del cojín influya significativamente en el experimento

Re: Pico se mantiene constante a una distancia de ALUMNO2- viernes, 10 de abril de 2020, 20:42

A mi también me pasaba con mi móvil, y al probar con otro móvil ya me funcionó, por lo que debía ser un problema del propio dispositivo y no del medio. Prueba con otro igual funciona.

Re: Pico se mantiene constante a una distancia de CARLOS LEON YEBRA - viernes, 10 de abril de 2020, 20:50

Quizá puedes usar unos tubos de papel de aluminio o de cocina para guiar el sonido hasta una pared.

Re: Pico se mantiene constante a una distancia de NORBERT MARCEL NEMES - viernes, 10 de abril de 2020, 20:53
prueba mirar en "Velocidad de Sonido" en lugar de "Ecolocalización"

Re: Pico se mantiene constante a una distancia de ALUMNO1- viernes, 10 de abril de 2020, 20:56

Vale, creo que ese era el problema, estaba midiendo las cosas en el apartado incorrecto, muchas gracias