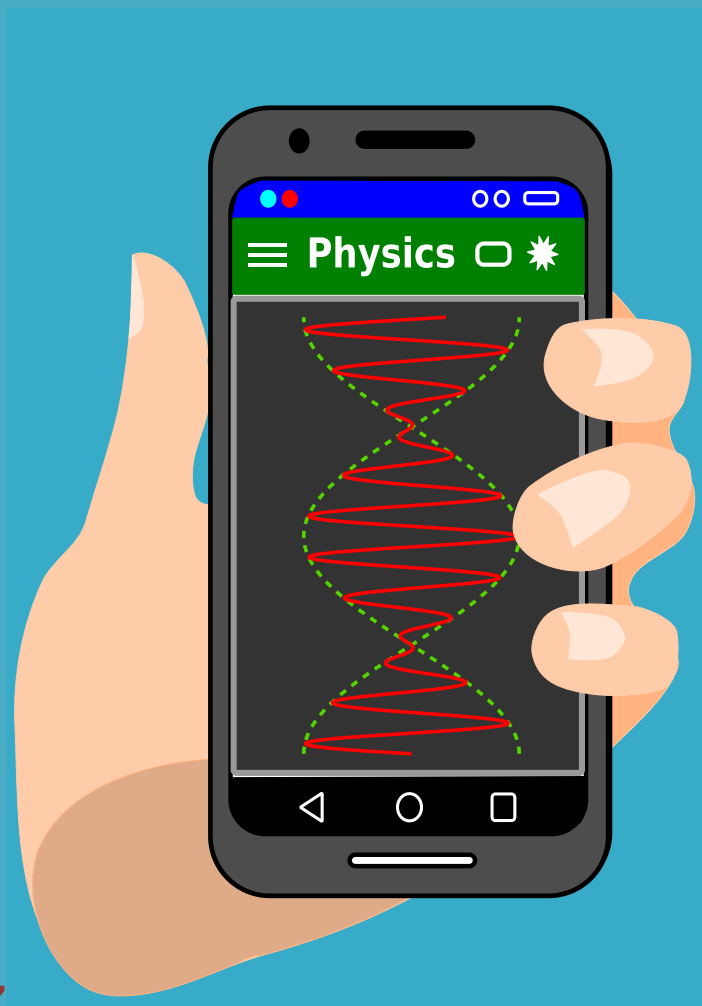


Experimentación en Física con dispositivos móviles

O cómo usar los teléfonos y las tabletas inteligentes en el laboratorio escolar

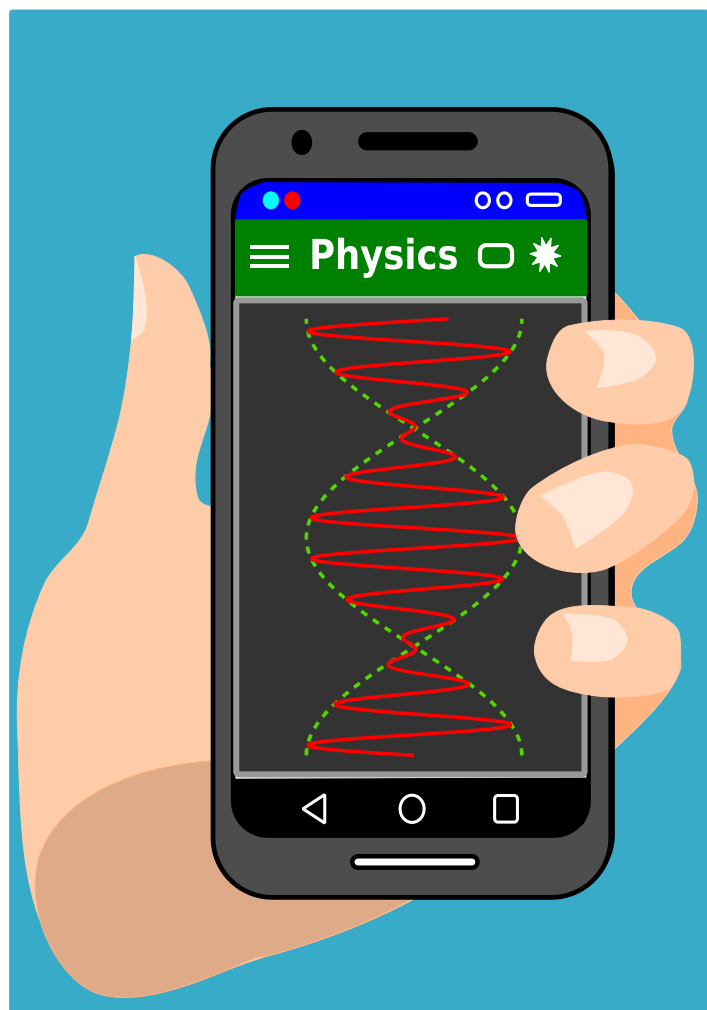


J. Lorenzo Ramírez



Experimentación en física con dispositivos móviles

O cómo usar los teléfonos y las tabletas inteligentes en el laboratorio escolar



J. Lorenzo Ramírez

J. Lorenzo Ramírez Castro, 2019

<http://experimentacioliure.wordpress.com/>



<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

Este documento está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-Compartir-Igual 3.0 Unported.

Índice

Introducción	9
Cuadro resumen de experimentos y aplicaciones	13
Sensores en los teléfonos y tabletas	17
Acelerómetro	18
Altavoces	19
Cámara fotográfica	19
Emisor de radiación infrarroja	19
Giroscopio	19
GPS	20
Linterna/Flash	21
Magnetómetro/sensor magnético/sensor hall	21
Micrófono/Sensor de sonido	22
Pantalla	22
Reloj	22
Termómetro	23
Sensor de luz	23
Sensor de presión atmosférica/barómetro	23
Sensor de proximidad	24
Sensores externos a teléfonos y tabletas	25
Altavoces	25
Espectroscopio	25
Fotocélula/fotopuerta	25
Lupa	27
Micrófono	27
Aplicaciones	29
ActionDirector	29
Albedo: A Reflectance App	29
Audiotime+ - Ciencia móvil	29
Advanced Spectrum Analyzer PRO	30
Calculadora	30
Color grab	31
Color Mixer	31
Cronómetro	31
Curbe Fitting Tool	31

Eclipse Calculator 2.0	31
Function Generator.....	32
Gauss meter	32
GoPhoton! Colores	33
Gophoton! Heart Rate.....	33
Grabadora de video	33
Lab Plot n Fit	33
Media Converter	33
Mostrador de radioactividad.....	34
Oruxmaps.....	34
PhyPhox.....	34
Physics Toolbox Sensor Suite.....	34
SciDavis	35
Science Journal	35
Smart Transportador.....	35
Sky Map	35
SpectralWorkbench	36
Spectrum Analyser	36
SPL Meter.	36
Teamviewer.....	36
Tracker.....	36
VCL.....	37
Vidanalysis	37
Movimientos	39
1 Movimientos al aire libre	40
2 Midiendo el tiempo en caída libre.....	42
3 Estudio de movimientos con vídeo.....	44
3. Medida de la velocidad de un objeto utilizando el efecto Doppler	46
5 Caída libre de una valla	49
6 Aceleración en un plano inclinado.....	51
7 El movimiento circular.....	53
Fuerzas y energía.....	57
8 La caída del teléfono.....	58
9 El rozamiento por deslizamiento	60
Medida de inclinaciones. El coeficiente de rozamiento estático.	60
El coeficiente de rozamiento dinámico en el deslizamiento por un plano inclinado	61
10 Las fuerzas en el choque	63
11 El movimiento del ascensor	65

12 El coeficiente de restitución en los choques	67
13 Energía potencial y cinética en un péndulo	71
Oscilaciones y vibraciones	75
14 Oscilaciones del péndulo medidas con el sensor de proximidad	76
15. Movimiento vibratorio vertical	78
16. Coeficiente de amortiguamiento de una goma de pollo.....	80
Mecánica de fluidos	83
17 La presión en el fondo de un recipiente	84
18 La presión en el interior de un globo	86
19 Variación de la presión con la altura.....	89
El sonido.....	93
20 El sonómetro	94
21 Medida directa de la velocidad del sonido	96
22 La velocidad del sonido con tubos y varillas	98
23 Otras maneras de medir la velocidad del sonido con tubos	101
24 Música con copas y botellas	105
25 Niveles de audición de los jóvenes frente a los mayores	107
26 Interferencias sonoras.....	109
27 Producción y grabación de batidos sonoros	111
La luz.....	113
28 Midiendo la iluminación con el sensor de luz	114
29 Intensidad de la luz y distancia.....	116
30 Transmisión de la luz a través de filtros y la composición de diferentes tipos de luz.....	118
31 Polarización de la luz	119
32 El color de los objetos.....	122
33 Suma y resta de colores	125
34 Medida de las pulsaciones	127
35 Espectroscopia cualitativa y cuantitativa.....	129
Electromagnetismo	131
36 El campo magnético de la Tierra.....	132
37 Experimento de Oersted	134
38 El campo magnético de un imán y la distancia	136
Física de la Tierra	139
39 Medida de la radioactividad ambiental.....	140
40 Localización de astros.....	142
41 La iluminación por el Sol de la Tierra.....	143
42 Estudio del albedo	145
Referencias	147

Glosario.....	151
---------------	-----

Introducción

Hace años que estoy interesado en uso de los teléfonos móviles y tabletas llamados inteligentes como herramientas para el estudio de las ciencias, y desde hace más de tres años he ido recopilando en el blog *Experimentació LLiure* ejemplos concretos de experiencias y trabajos prácticos realizados con dispositivos móviles, principalmente en el campo de la Física.

Cuando hablo de dispositivos móviles me refiero sobre todo a teléfonos inteligentes y tabletas, pero también a los ordenadores portátiles y la parafernalia de ingenios que se les pueden conectar a todos ellos.

¿Qué interés tienen los dispositivos móviles para la experimentación en los laboratorios escolares? ¿No hay suficiente con los ordenadores y las consolas con sensores? ¿No son los móviles fuente de conflictos en las aulas hasta el punto que han sido prohibidos en muchos centros escolares, incluso en todas las escuelas de un país entero? Pues tienen interés, y mucho.

En primer lugar son unos dispositivos que hacen maravillas en cuanto a recopilar datos experimentales con los sensores de los que van equipados de serie, y en segundo lugar todos los estudiantes disponen de uno, y si no sus padres, por lo que las dificultades de adquisición son nulas (es más difícil conseguir un muelle que un móvil).

Además el uso de dispositivos móviles no se restringe al laboratorio escolar sino que la experimentación puede proseguirse en casa, en el parque, de viaje, etc. Con lo que los jóvenes pueden realizar trabajo autónomo.

Si es cierto que el mal uso de móviles y tabletas puede conllevar mil males no solo a las instituciones académicas sino a los propios estudiantes, pero no es menos cierto que son dispositivos que han venido para quedarse y que la función principal de la escuela es la de educar, por ejemplo en el buen uso de la ciencia y la tecnología, y en este caso concreto, de los dispositivos móviles.

El que hoy en día todo el mundo lleve un teléfono inteligente en el bolsillo no quiere decir que sean

baratos, por lo que hay que tener mucho cuidado en su uso y no realizar experimentos con ellos si no se está convencido de la seguridad del dispositivo y, sobre todo, de las personas que realizan el experimento.

Pues bien, convencido de las bondades del uso de los teléfonos en el aula, y con la intención de facilitar su utilización, en este documento he recogido los experimentos y trabajos prácticos en los que se utilizan dispositivos móviles para la toma de datos que he ido publicando en mi blog y he añadido algunos otros nuevos, de cara a facilitar su acceso al profesorado de Física en los niveles de Educación secundaria obligatoria y Bachillerato. Todos ellos los he adaptado al formato de lectura PDF de manera que el documento pueda ser utilizado en formato electrónico o impreso en papel.

El documento está estructurado en diversos apartados. Ha comenzado con un índice general de todos los apartados y subapartados que contiene y acaba con una tabla de contenido.

Después de esta introducción he incluido un cuadro resumen con los experimentos ordenado por ámbitos clásicos de la física (movimientos, fuerzas y energía, etc) en el que aparecen los sensores y aplicaciones que utiliza cada experimento, así como una propuesta del nivel académico de los alumnos en el que serían de más utilidad.

A continuación describo los posibles sensores que incluyen los teléfonos móviles y tabletas con una pequeña explicación de su funcionamiento. En el siguiente capítulo relaciono algunos sensores externos a los dispositivos móviles, pero que se les pueden conectar directamente a través de la entrada de auriculares o del puerto USB, o también inalámbricamente, por ejemplo por bluetooth.

También hay un capítulo del documento dedicado a las aplicaciones que se deben instalar en los móviles y que se utilizaran para obtener datos experimentales y/o procesarlos. En la descripción de cada aplicación (app) incluyo un enlace, bien directamente a la tienda de aplicaciones o bien a la web de sus autores, donde se puede clicar para instalar la aplicación, si estamos leyendo este

documento directamente en el teléfono o la tableta. Como también hay muchas posibilidades de que se imprima este documento para poder consultarlo y tener el móvil libre para dedicarlo a los experimentos, he incluido el código QR que dirige a las aplicaciones.





El grueso de este documento es la descripción de los diferentes experimentos y trabajos prácticos que propongo. Evidentemente no están todos los que son pero cubren un buen espectro de lo que es la Física en la enseñanza secundaria (12 – 18 años). Así los ámbitos cubiertos son la mecánica, las ondas, el electromagnetismo y la astronomía cercana.

La mayor parte de los experimentos son reciclados. Son experimentos que hacía años que veníamos realizándolos con instrumentos clásicos y con las llamadas nuevas tecnologías, sobre todo con los equipos de experimentación asistida por ordenador (EXAO) con los que algunos hemos tenido la suerte de poder trabajar. La novedad consiste en adaptar los protocolos a la obtención de datos con los nuevos dispositivos móviles y en sacar más partido a las situaciones.

En cada uno de los experimentos se indican las aplicaciones y otros materiales necesarios para su realización, se explica el protocolo a seguir y se realizan observaciones que complementan el experimento o que clarifican alguna forma de actuar. En todos los experimentos se hace referencia a los conceptos involucrados y muchos de ellos se inician con una descripción del marco teórico. En todo caso, todos los conceptos y teoría involucrados en los experimentos se pueden consultar en los libros de texto de Física de los niveles correspondientes a Educación Secundaria y Bachillerato.

Si se necesita profundizar recomiendo dos cursos de física en línea, *Hyperphysics*, de Carl R. Nave y M. Olmo (Nave y Olmo, 2010) y el *Curso Interactivo de Física en Internet* de Angel Franco (Franco, 2015), y dos libros clásicos de física que se pueden consultar libremente en el Internet Archive de la Asociación Americana de bibliotecas, *Física Para Ciencias e Ingeniería*, de Douglas Giancoli (Giancoli, 2008a y b) y *Física*, de Alonso y Finn (Alonso y Finn, 1976).

Enlaces a repositorios de experimentos con dispositivos móviles de:

Rebecca y Chrystian Vieyra	Ray Wisman y Kyle Forinash	Martín Monteiro	Sebastian Staacks
			
https://is.gd/E5RbZt	https://is.gd/IQb8Sb	http://smarterphysics.blogspot.com/	https://phyphox.org/experiments/

Además de tener que agradecer aquí la labor realizada por todos los pioneros de la experimentación asistida por ordenador, también he de realizar el reconocimiento a otros autores más cercanos en el tiempo y que han realizado aplicaciones que permiten obtener los datos de los sensores de los dispositivos móviles, así como a los que se han lanzado a descubrir las posibilidades de los teléfonos y tabletas y han ido realizando propuestas experimentales para su utilización. Son muchos, pero yo los concretaré en cuatro que me parecen muy buenos:

- Rebecca y Chrystian Vieyra, responsables de la magnífica aplicación Physics Toolbox Sensor Suite (Chrystian) y de numerosas propuestas para realizar con ella (Rebecca).
- Ray Wisman y Kyle Forinash, profesores de la Universidad de Indiana. Han elaborado diversas aplicaciones (Wisman) y diversos protocolos en el campo de la física (Forinash).
- Martín Monteiro y colaboradores. Son profesores de Física en la Universidad ORT de

Uruguay. Han escrito un montón de buenos protocolos para la experimentación en Física.

- Sebastian Staacks y colaboradores. Es profesor de física en la universidad de Aquisgrán. Han elaborado la aplicación Phybox que es estupenda y una serie de videos en los que describen los experimentos que se pueden hacer con ella.

Para acabar el documento y antes de la tabla de contenido, he incluido un listado bibliográfico a determinados documentos, manuales o artículos que he ido referenciando a lo largo del texto. Salvo alguna concreta excepción, solo incluyo las referencias que pueden conseguirse online.

En llegando al *Va/e*, espero que les sea de alguna utilidad lo escrito.

Cuadro resumen de experimentos y aplicaciones

Nº 1	Experimentos Movimientos	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
1	Movimientos al aire libre	Mecánica. Cinemática	GPS/Cronómetro	Cronómetro, Orusmaps, Calculadora	Educación secundaria obligatoria
2	Midiendo el tiempo de caída libre	Mecánica. Cinemática	Sensor de sonido	Ciencia Móvil - AudioTime +	Educación secundaria obligatoria
3	Estudio de movimientos con video	Mecánica. Cinemática.	Cámara fotográfica	Vidanalysis free, Curbe Fitting Tool, ActionDirector, Media Converter	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
4	Medida de la velocidad de un objeto utilizando el efecto Doppler	Mecánica. Cinemática	Sensor de sonido	Ciencia Móvil - AudioTime +, Function generator	Bachillerato
5	Caída libre de una valla	Mecánica. Cinemática	Fotocélula externa	Ciencia Móvil - AudioTime +	Bachillerato
6	Aceleración en un plano inclinado	Mecánica. Cinemática	Fotocélula externa	Ciencia Móvil - AudioTime +	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
7	El movimiento circular	Mecánica. Cinemática	Giroscopio	Physics Toolbox Sensor Suite PhyPhox	Bachillerato

Nº 2	Experimentos Fuerzas y energía	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
8	La caída del teléfono	Mecánica. Dinámica	Acelerómetro	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
9	El rozamiento por deslizamiento. Coeficientes de rozamiento estático y dinámico	Mecánica. Dinámica	Acelerómetro Inclinómetro	Physics Toolbox Sensor Suite Smart Tools: Regla	Bachillerato
10	Las fuerzas en el choque	Mecánica. Dinámica	Acelerómetro	Physics Toolbox Sensor Suite	Bachillerato
11	El movimiento del ascensor	Mecánica. Dinámica	Acelerómetro	Physics Toolbox Sensor Suite	Bachillerato
12	El coeficiente de restitución en los choques	Mecánica. Energía	Sensor de sonido	Ciencia Móvil - AudioTime +	Bachillerato
13	Energía potencial y cinética en un péndulo	Mecánica. Energía	Acelerómetro	Physics Toolbox Sensor Suite	Bachillerato

Nº 3	Experimentos Oscilaciones y vibraciones	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
14	Oscilaciones del péndulo	Mecánica. Oscilaciones y vibraciones	Sensor de proximidad	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
15	Movimiento vibratorio vertical	Oscilaciones y vibraciones	Acelerómetro	Physics Toolbox Sensor Suite	Bachillerato
16	Coeficiente de amortiguamiento de una goma de pollo	Oscilaciones y vibraciones	Acelerómetro	Physics Toolbox Sensor Suite	Bachillerato

Nº 4	Experimentos Mecánica de fluidos	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
17	La presión en el fondo de un recipiente	Mecánica. Fluidos	Sensor de presión	Physics Toolbox Sensor Suite, PhyPhox	Educación secundaria obligatoria
18	La presión en el interior de un globo	Mecánica. Fluidos	Sensor de presión	Physics Toolbox Sensor Suite, PhyPhox	Educación secundaria obligatoria
19	Variación de la presión con la altura	Mecánica. Fluidos	Sensor de presión	Physics Toolbox Sensor Suite, PhyPhox	Educación secundaria obligatoria

Nº 5	Experimentos El sonido	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
20	El sonómetro	Ondas. Sonido	Sensor de sonido	SPL Meter. Sonómetro	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
21	Medida directa de la velocidad del sonido	Ondas. Sonido	Sensor de sonido	Audiotime+	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
22	La velocidad del sonido con tubos y varillas	Ondas. Sonido	Sensor de sonido	Spectrum Analyser	Bachillerato
23	Otras maneras de medir la velocidad del sonido	Ondas. Sonido	Sensor de sonido	Advanced Spectrum Analyzer PRO, Funtion Generator	Bachillerato
24	Música con copas y botellas	Ondas. Sonido	Sensor de sonido	Advanced Spectrum Analyzer PRO	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
25	Niveles de audición de los jóvenes frente a los mayores	Ondas. Sonido	Altavoces	Funtion Generator	Educación secundaria obligatoria
26	Interferencias sonoras	Ondas. Sonido	Altavoces	Funtion Generator	Bachillerato

27	Producción y grabación de batidos sonoros	Ondas. Sonido	Micrófono / Altavoces	Ciencia Móvil - AudioTime +, Funtion Generator	Bachillerato
----	---	---------------	-----------------------	--	--------------

Nº 6	Experimentos La luz	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
28	Midiendo la iluminación	Ondas. La luz	Sensor de luz	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria
29	Intensidad de la luz y distancia	Ondas. La luz	Sensor de luz	Physics Toolbox Sensor Suite	Bachillerato
30	Transmisión de la luz a través de filtros y la composición de diferentes tipos de luz	Ondas. La luz	Sensor de luz	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
31	Polarización de la luz	Ondas. La luz	Sensor de luz	Physics Toolbox Sensor Suite	Bachillerato
32	El color de los objetos	Ondas. La luz	Cámara fotográfica	Color grab, GoPhoton! Colores, Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
33	Suma y resta de colores	Ondas. La luz	Cámara fotográfica, y Pantalla del dispositivo	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria
34	Medida de las pulsaciones	Ondas. La luz	Cámara fotográfica y flash	Gophoton! Heart Rate	Educación secundaria obligatoria
35	Espectroscopia cualitativa y cuantitativa	Ondas. La luz	Cámara fotográfica. Espectroscopio	App fotografía	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato

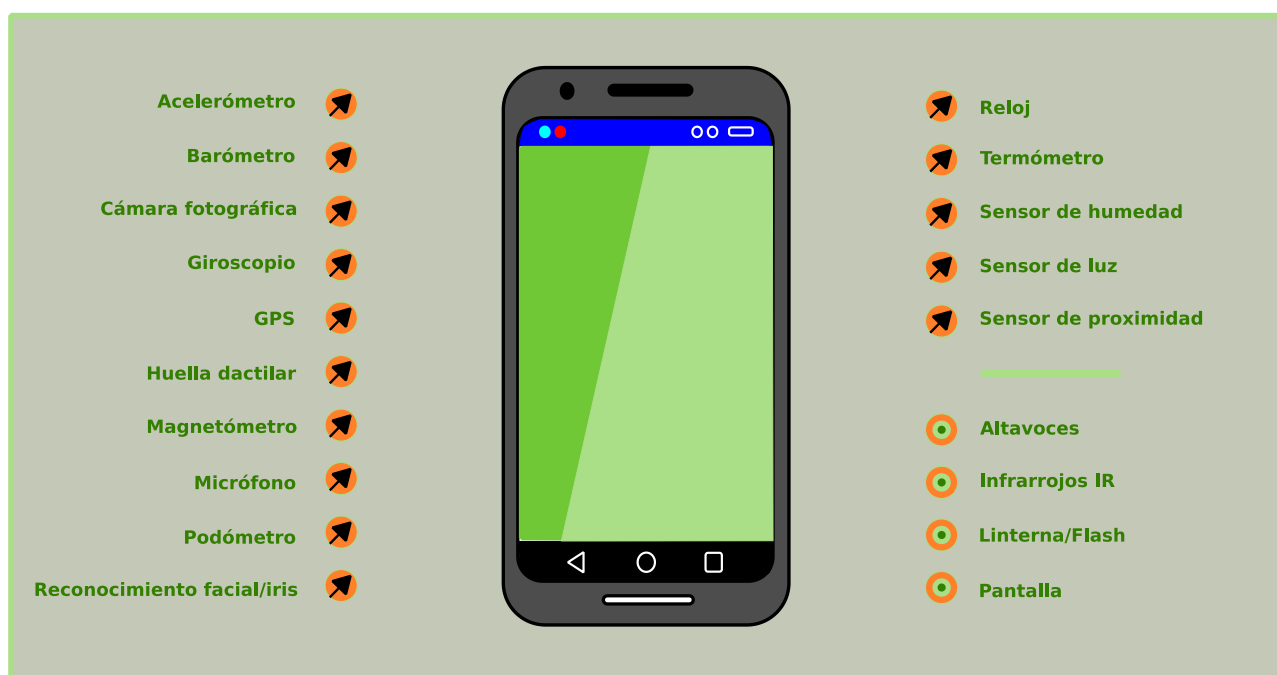
Nº 7	Experimentos Electromagnetismo	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
36	El campo magnético de la Tierra	Electromagnetismo	Sensor magnético	Gauss meter	Educación secundaria obligatoria
37	Experimento de Oested	Electromagnetismo	Sensor magnético	Gauss meter	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato
38	El campo magnético de un imán y la distancia	Electromagnetismo	Sensor magnético	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria, Bachillerato

Nº 8	Experimentos Física de la Tierra	Materia	Sensor/es	Aplicación/es	Nivel educativo
39	Medida de la radioactividad ambiental	Física atómica. Astronomía	Cámara fotográfica	Mostrador de radioactividad	Bachillerato
40	Localización de astros	Astronomía	GPS y sensor magnético	Sky Map	Educación secundaria obligatoria
41	La iluminación por el Sol de la Tierra	Astronomía	Sensor de luz	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria
42	Medida del albedo	Astronomía	Sensor de luz	Physics Toolbox Sensor Suite	Educación secundaria obligatoria

Sensores en los teléfonos y tabletas

La tecnología no para de evolucionar constantemente por lo que los móviles y tabletas tienen cada vez más y más componentes electrónicos que aportan nuevas funcionalidades. La mayoría de estas supuestas mejoras pasan por

incorporar nuevos sensores que sirven para recopilar información que usará el propio móvil para mejorar su utilidad, pero que también puede ser extraída y analizada para nuestros propósitos en el ámbito de la educación científica.



En la actualidad un móvil tiene muchísimos sensores: de proximidad, luminosidad, gravedad, etc. En este apartado vamos a ver cuáles son los más destacados, para qué sirven y, en algunos casos, como es su funcionamiento.

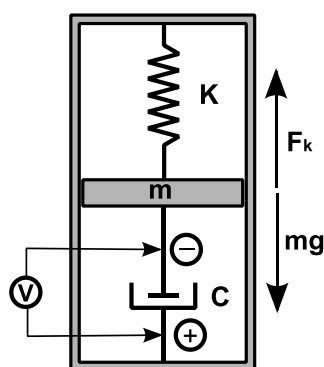
No todos los dispositivos móviles tienen todos los sensores, pero hay algunos que siempre están presentes, incluso en las tabletas, que siempre van más escasas. El acelerómetro, la cámara fotográfica y el micrófono son los tres imprescindibles.

Para saber de cuáles dispone el aparato no hay más que instalar una de las aplicaciones que son capaces de extraer los valores que miden los diversos sensores, como Physics Toolbox, que se analiza en el capítulo de apps, ponerla en marcha y ver cuáles son los sensores que funcionan y los que no.

Además de sensores propiamente dichos, los dispositivos móviles disponen de otras extensiones, como los altavoces o la pantalla, que también pueden dar mucho juego en la experimentación.

Acelerómetro

Las tabletas y teléfonos inteligentes contienen acelerómetros que monitorizan la orientación del dispositivo. El acelerómetro del móvil realmente mide la fuerza que sufre, no la aceleración. Según el esquema de la figura de abajo se puede imaginar una masa ligada a un resorte que tira hacia abajo con una fuerza igual a su masa por la aceleración de la gravedad y que se mantiene en equilibrio por la fuerza que ejerce el resorte en sentido contrario.

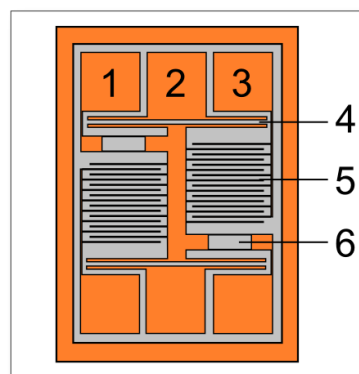


Si tiramos de la caja hacia arriba el muelle se estirará y la masa se desplazará hacia abajo en la caja juntando las placas del condensador al que está enganchada. Cuanto más fuerte sea el tirón, más se acercarán las placas del condensador y la capacidad del condensador aumentará provocando que pase una pequeña cantidad de corriente para reequilibrar la distribución de cargas.

Si se deja caer la caja, ocurrirá lo contrario. Si se sostiene quieta en vertical la capacidad del condensador medirá la aceleración de la gravedad, y si se pone la caja horizontal el resorte estará en su posición de equilibrio, lo que también indicará la nueva capacidad del condensador.

Con tres cajitas como ésta, colocadas en un objeto perpendicularmente entre sí, podríamos saber la posición en la que se encuentra y la aceleración que sufre. En la práctica el acelerómetro de los móviles y tabletas utiliza una patita microscópica (de unos 100 micras de longitud por 1 micras de ancho) para medir la fuerza en una dirección determinada en lugar de la masa de un resorte. Esta patita es una plaqueta del condensador y está metida sin tocarse entre otras dos (con separaciones de unas micras) que constituyen la otra placa. Si se mueve el móvil, la patita se flexiona y disminuye la distancia entre

ellas y por tanto la capacidad del condensador que forman.



Esquema de acelerómetro. Tosaka~commonswiki (CC-BY-3.0) via wikimedia commons

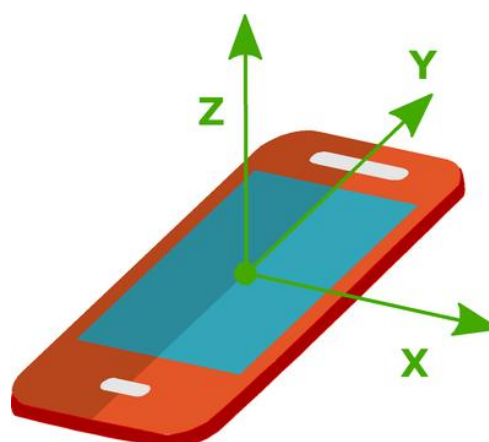
Bill Hammack, de EngineerGuy, en el vídeo de al lado explica estupendamente en inglés el funcionamiento del acelerómetro de los móviles. También expone como los fabrican con silicio e hidróxido de potasio siguiendo un procedimiento curiosísimo.

Funcionamiento del acelerómetro



<https://youtu.be/KZVgKu6v808>

Pero, ¿cómo se sitúan los tres ejes del acelerómetro en los móviles y tabletas? Si se coloca el teléfono sobre una mesa quieto horizontalmente con la pantalla hacia arriba los ejes X e Y del acelerómetro medirán cero y en el eje Z medirá $1\text{ g} = 9,81\text{ m/s}^2$, y si se pide a la aplicación con la que estamos midiendo que descuenta la gravedad, el eje Z también marcará cero.



Por otro lado, si el teléfono se pone vertical será el eje Y el que medirá g , y si se coloca vertical pero

apaisado, será el eje X el que esta vez indicará la aceleración de la gravedad.



Acelerómetro y giroscopio en una placa para utilizar con Arduino. Sparkfun.

Si está el dispositivo en posición horizontal, orientada la pantalla arriba, y se empuja hacia la derecha el valor de la aceleración en X es positivo, también si se mueve el teléfono hacia delante alejándolo de un mismo el valor de la aceleración en Y es positivo y, por último, si se acelera hacia arriba añadirá esta aceleración a la de la gravedad (si no se ha descontado).

Inclinómetro

Aunque algunos fabricantes indican que sus dispositivos incluyen un inclinómetro, no se trata más que de una estrategia comercial ya que el propio comportamiento del acelerómetro hace que se comporte como un nivel ya que detecta los cambios de posición del teléfono y por tanto su inclinación sobre la horizontal.

Altavoces

Todos los teléfonos y tabletas tienen altavoces para poder comunicarse por teléfono y para poder escuchar los audios musicales o de los vídeos, etc.

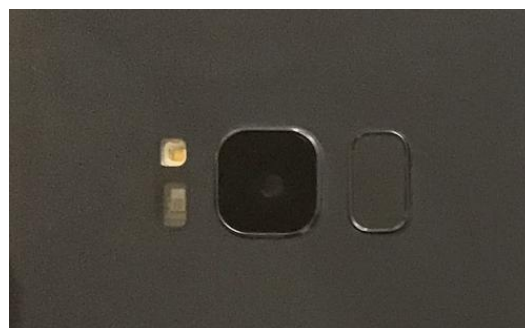
Son altavoces diminutos de muy poca potencia pero colocados en una pequeña cavidad del aparato que dirige el sonido hacia las aberturas, lo que consigue que se oigan con suficiente intensidad, sobre todo si se tienen pegados a la oreja.

Para ser más eficaces suelen priorizar la emisión de los sonidos agudos que, aunque distorsionan un poco el sonido real, consiguen que parezca que suenan más altos.

Normalmente resultan poco útiles para demostraciones dirigidas a una audiencia un poco numerosa.

Cámara fotográfica

La cámara fotográfica también es uno de los elementos que llevan todos los teléfonos móviles y tabletas. Es más, casi todos incorporan una cámara en la parte delantera del aparato para realizar videoconferencias y autorretratos y otra en la parte trasera para propiamente realizar fotografías y videos.



Los sensores de las cámaras fotográficas no solo son capaces de recoger los colores de la parte visible del espectro electromagnético sino también parte del infrarrojo cercano, lo que permite visualizar por ejemplo las emisiones infrarrojas de los mandos de las televisiones, y también pueden ver más allá del ultravioleta, lo que hace que puedan utilizarse para la detección de radiación gamma.

Emisor de radiación infrarroja

Algunos teléfonos disponen en su parte superior un led emisor de radiación infrarroja (IR) pensado para poder controlar como un mando a distancia televisores y otros aparatos

Giroscopio

Como en el caso del acelerómetro, el giroscopio de los teléfonos y tabletas es un dispositivo electromecánico (Micro Electro Mechanical System,

MEMS) de unas dimensiones muy reducidas que está integrado por diferentes elementos como uno o varios brazos en constante vibración, otro brazo de detección, un estator central fijo al que van conectados los brazos, tanto el de detección como los de vibración, y sensores capaces de determinar el movimiento de los brazos, tal como nos indica la infografía de abajo, que está traducida de una hecha por SEIC-Epson (ver referencias) en cuya web también explican las características de sus sensores.

Al estar normalmente los brazos vibrando siempre en la misma dirección, cuando movemos el teléfono la velocidad angular que sufre el giroscopio incide sobre los brazos alterando la dirección de vibración.

Ahora bien, muchos teléfonos de gama baja y la mayoría de las tabletas se apañan solo con el acelerómetro y no disponen de giroscopio, por lo que se ha de comprobar si se dispone de él con una de las aplicaciones que leen sus datos, como son Physics Toolbox o Phypox.

GPS

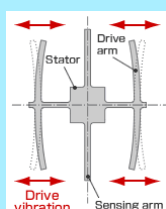
El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) consiste en una serie de satélites propiedad del gobierno de Estados Unidos que transmiten señales que a su vez unos receptores en la superficie del planeta pueden usar para determinar su propia posición. Precisamente el término GPS se utiliza normalmente para referirse a estos receptores de las señales.

El GPS funciona mediante una red de como mínimo 24 satélites en órbita sobre el planeta Tierra, a 20.180 km de altura, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando conectamos el GPS del teléfono porque queremos saber dónde y a qué altura estamos, el receptor localiza como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe señales indicando la identificación y hora del reloj de cada uno de ellos, además de información sobre sus posiciones relativas. Con base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al móvil, de tal modo que mide la distancia a los satélites multiplicando el tiempo por

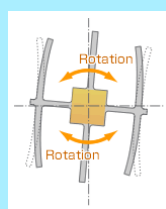
la velocidad de la luz.

Conocidas las distancias, el chip del teléfono determina la propia posición relativa respecto a los satélites mediante el método denominado de trilateración. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto en el que nos encontramos.

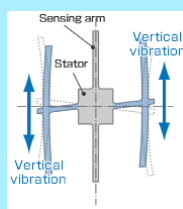
Funcionamiento del giroscopio



1. Normalmente los brazos de accionamiento (drive arm) vibran en una dirección.

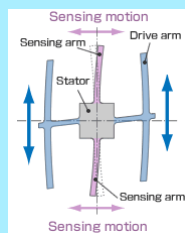


2. Dirección de la rotación.



3. Cuando el giroscopio rota, las fuerzas de Coriolis actúan sobre los brazos de accionamiento cambiando la dirección de su vibración. Por ejemplo, de horizontal a vertical.

Fuente de la infografía:
Seiko Epson



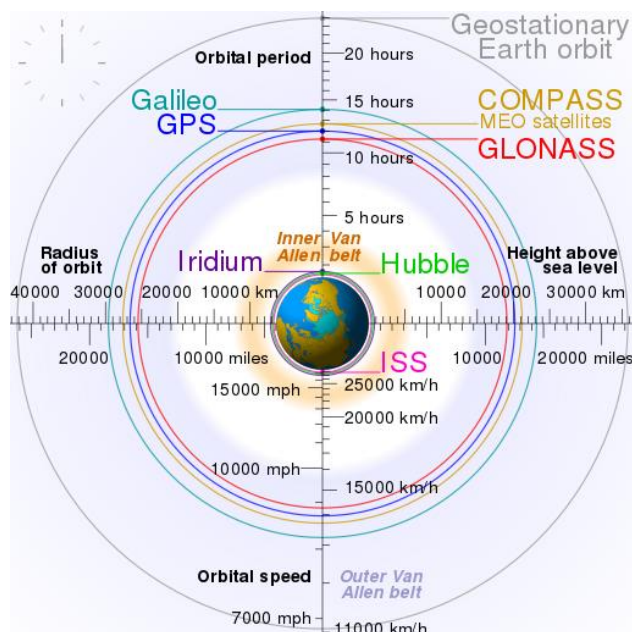
4. La parte estacionaria (stator) se dobla a causa de la vibración vertical del brazo de accionamiento produciendo un movimiento en los brazos de detección.



5. El movimiento de los brazos de detección (Sensing arm) produce una diferencia de potencial a partir de la que se mide la velocidad angular. Esta velocidad angular se convierte en una señal eléctrica de salida.

Estos cambios, por mínimos que sean, son detectados por los sensores alojados en el giroscopio, traduciendo la rotación en el espacio en impulsos eléctricos.

La combinación de la información del giroscopio y del acelerómetro es lo que permite al teléfono saber cuál es su posición en el espacio, con qué inclinación, cuál es su aceleración y velocidad de giro, etc. de modo que en todo momento sabe cómo se está moviendo.



Comparación de sistemas de satélites. GPS, Galileo, GLONASS y Compass (sustituto del Beidou). Imagen de Cmglee [CC-BY-SA-3.0], via wikimedia commons

Aunque el sistema que utilizan actualmente en Europa todas las tabletas y teléfonos inteligentes es el GPS, otros sistemas de geoposicionamiento propiciados por otros países están en fase muy avanzada, con muchos satélites ya en órbita. Así el sistema **Galileo** es el programa europeo de radionavegación y posicionamiento por satélite, desarrollado por la Unión Europea conjuntamente con la Agencia Espacial Europea. También el **Glionass** (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya, Satélite de navegación global) ruso, y el **Beidou** chino, aunque este último solo para el área geográfica de china ya que utiliza satélites geoestacionarios, a diferencia de los sistemas de posicionamiento global que usan satélites a baja altura. La mayoría de los móviles permiten usar varios sistemas a la vez.

El programa Galileo pretende dotar a la Unión Europea de una tecnología independiente del GPS estadounidense y el GLONASS ruso.

Linterna/Flash

Para que sirva como flash de la cámara fotográfica y también como linterna, todos los teléfonos móviles incorporan un potente led blanco al lado de la obertura de la cámara fotográfica trasera. Igual que los altavoces, no es un sensor pero lo incluyo por

ser un elemento del teléfono de interés para la experimentación.



Con la aplicación adecuada el flash puede convertirse en una luz estroboscópica.

Magnetómetro/sensor magnético/sensor hall

Seguro que alguna vez nos hemos preguntado cómo algunas fundas de nuestros móviles, hacen que se encienda la pantalla cuando las abrimos. Esto es debido al magnetómetro, un sensor que tiene nuestro móvil llamado de efecto Hall. Un sensor de efecto Hall detecta campos magnéticos, por ejemplo la proximidad de un imán incorporado en la tapa de la funda del dispositivo, con el fin de apagar la pantalla automáticamente cuando la tapa está cerrada.



Sensor efecto Hall. Sparkfun

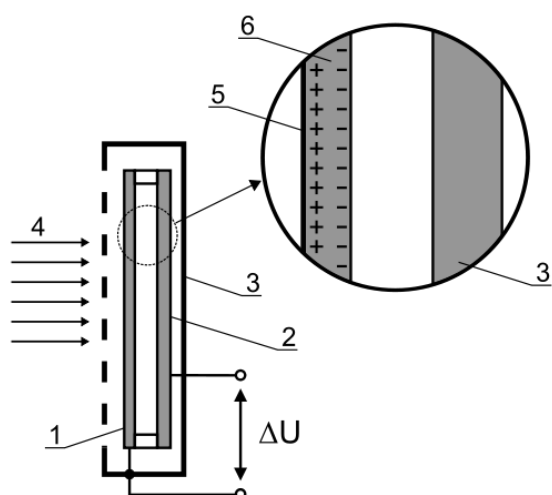
Si fluye corriente por un sensor Hall y se le aproxima perpendicularmente un campo magnético entonces se genera en el sensor un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la intensidad de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético

Micrófono/Sensor de sonido

Para poder hablar por teléfono es absolutamente necesario que todos los teléfonos incorporen un micrófono.

Los micrófonos utilizados son de la categoría conocida como micrófono de condensador electret en los que una de las placas está permanentemente polarizada de fábrica, aunque se están reemplazando rápidamente por una variante de tipo electromecánico, MEMS (Micro Electro Mechanical systems) que tienen un perfil mucho más plano y pueden montarse en la superficie de la placa base del dispositivo.

Ambos son pequeños, ligeros y baratos pero con buena sensibilidad y rango de frecuencia. Ambos operan formando un condensador de placa. El sonido (presión) cambia la distancia entre las placas alterando el valor de la capacitancia. Estos cambios en la capacitancia alteran el voltaje a que están sometidas las placas, siguiendo los cambios de presión de sonido.



Micrófono de condensador electret. 1 membrana, 2 placa rígida metálica, 3 alojamiento, 4 presión acústica, 5 capa metálica 6. capa plástica electret. De CLI (CC BY-SA 3.0) via wikimedia commons

Pantalla

Si los teléfonos solo sirvieran para hablar no necesitarían incorporar una pantalla, pero hoy en día las llamadas telefónicas se han convertido en una función secundaria, siendo el terreno de las pantallas uno en los que más se ha avanzado.

Sirven para visualizar las aplicaciones, para ver fotografía y videos, para introducir las órdenes al teléfono, etc., y también para producir luz de diferentes colores.



Pantalla, de ProtoplasmaKid (CC BY-SA 3.0) via Wikimedia commons

Existe una gran diversidad de tipos de pantallas, siendo las de tipo resistivo o capacitivo las más habituales entre las pantallas táctiles

Reloj

Todos los teléfonos disponen de un reloj interno que permiten a las aplicaciones contar el tiempo. Los relojes digitales utilizan por lo general osciladores de cristal de cuarzo para producir una señal de frecuencia y obtener la base de tiempo que un circuito electrónico transforma en intervalos de tiempo. La frecuencia más común utilizada en los cristales de cuarzo es de 32 768 Hz.

En los ordenadores, teléfonos y tabletas inteligentes la base de tiempo viene dada por lo que se denomina Reloj en tiempo real (*real-time clock*, RTC), que no es sino un sistema que también se basa en un oscilador de cristal a la misma frecuencia que el de los relojes de pulsera ya que corresponde exactamente 2^{15} ciclos por segundo, lo que va muy bien con los sistemas que cuentan en binario.

Las primeras versiones de teléfonos móviles tenían un RTC independiente con una batería de respaldo, pero ahora la mayoría de los teléfonos inteligentes tienen un RTC incorporado en otro chip (procesador SoC, System On Chip) para ahorrar espacio. Estos RTC no tienen una batería propia sino que dependen de la batería del teléfono, pero pueden funcionar incluso cuando el teléfono está apagado. Esto se debe a que incluso cuando la batería se haya agotado, todavía tiene alrededor de 3,2 V, que es suficiente para ejecutar un RTC.

Si la batería de vuestro teléfono se puede extraer con facilidad probad a sacarla. Probablemente tendréis que volver a restablecer el tiempo y la hora una vez que volváis a encender el teléfono.

Si se mantiene la hora es que el móvil tiene una batería CMOS independiente en el interior, directamente en la placa base, para que el RTC siga funcionando incluso cuando la batería principal se extraiga, de forma similar a los ordenadores que usan una pila de botón para mantener la configuración de la BIOS cuando se apagan.

Termómetro

El termómetro para la temperatura ambiente está disponible en un número muy limitado de teléfonos inteligentes, no así el termómetro que mide la temperatura de la batería, presente en casi todos.

El termómetro está compuesto de múltiples micro termopares incrustados en una membrana. Los termopares están hechos de dos pequeñas piezas de alambre de diferentes metales, conectadas en uno o dos puntos diferentes. Cuando se produce un cambio la temperatura, el potencial eléctrico medido entre los dos metales también cambia y se lee como una nueva temperatura.

Sensor de luz

La mayoría de los teléfonos móviles disponen de un sensor de luz en la parte delantera superior (foto de abajo) que dispone de un fotodiodo que normalmente integra los sensores de luz ambiental y de proximidad para no tener que duplicar los fotodiodos en el teléfono (y los agujeros en la

carcasa), y además de un diodo emisor de luz infrarroja IR. Todo ello con unas dimensiones en mi móvil de 3.94 x 2.36 x 1.35 mm.

El sensor de luz se usa para detectar la intensidad de luz que hay en el entorno donde se esté usando el dispositivo y, a continuación, ajustar el brillo de la pantalla para mejorar su visibilidad. Se puede probar el efecto poniendo el teléfono en un lugar oscuro o tapando el sensor y luego destapándolo y se verá cómo recupera el brillo.



El fotodiodo mide la cantidad de luz que le llega en la zona del visible y del infrarrojo cercano, básicamente. Por lo tanto no mide todo el flujo de luz que incide sobre él, aunque sí el correspondiente a las frecuencias que le interesan por las funciones para las que está diseñado, lo que significa que no capta toda la energía que le llega.

Sensor de presión atmosférica/barómetro

El barómetro es un instrumento científico usado en meteorología para medir la presión atmosférica. Esta medición de la presión puede usarse para pronosticar cambios a corto plazo en el clima y puede usarse para estimar la altitud. Optimiza la predicción del tiempo al saber la presión que hay en un sitio concreto. Del mismo modo, permite saber la altitud que estamos sobre el nivel del mar sin tener conexión a internet.

Sólo los dispositivos móviles de gama alta incorporan el barómetro, así que lo normal es no disponer de este sensor. Si se quiere conseguir para el laboratorio un aparato que lo tenga mi recomendación es pensar en un teléfono de gama

alta de hace un par de temporadas, ya que el precio baja en picado de año en año y será un aparato que podrá durar todavía muchos años.

El barómetro contiene una pequeña cavidad llena de gas que está completamente cerrada. El lado superior de la cavidad está cubierto con una membrana que tiene una red de resistencias incrustadas en su interior. A medida que la presión aumenta o disminuye, la membrana cambia de forma. Como resultado del cambio en la forma de la membrana se producen cambios en su estructura que hace cambiar su resistividad. Los cambios en la resistencia a través de la membrana se leen como cambios en la presión atmosférica.

Sensor de proximidad

Un sensor de proximidad es un sensor capaz de detectar la presencia de objetos cercanos sin ningún contacto físico. El sensor de proximidad emite un haz de radiación infrarrojos y se buscan cambios en la señal de retorno. Entre sus usos está, por ejemplo, la medición de la posición respecto a un objeto o evitar colgar por error al acercar el móvil a la oreja.

Así, el teléfono usa el sensor de proximidad para saber si se tiene la cara pegada al móvil cuando se habla por teléfono. Cuando se realiza una llamada, el led IR comienza a emitir luz que se refleja en la cara y llega al fotodiodo receptor que en detectar luz IR envía una señal para apagar la pantalla del aparato y consumir menos batería y también para que la oreja no interaccione con la pantalla.

Este detector es efectivo sólo hasta unos 5 cm de separación de la cara ya que está diseñado para reaccionar a un nivel de intensidad de luz IR

elevado que le llegue al teléfono con un ángulo cercano a la perpendicularidad.

Antes los móviles incorporaban un sensor de proximidad que emitía una luz roja en el rango del espectro visible (entre los 660 y los 700 nm, siendo el espectro visible de la luz para el ojo humano de entre 400 y 700 nm). El sensor de proximidad de los teléfonos actuales funcionan con luz infrarroja (entre 700 nm y 1 mm) que es invisible para el ser humano, aunque se puede apreciar como una lucecita violada a través de la cámara fotográfica del móvil ya que este es capaz de ver además del visible algo de ultravioleta (UV) y del infrarrojo (IR) cercanos, ya que no dispone de filtro IR.



Mando de televisión visto a través de una cámara fotográfica

Si se mira el frontal de un teléfono móvil a través de la cámara de fotos de otro no se aprecia ninguna luz fuera de la pantalla, pero si se realiza una llamada telefónica, inmediatamente se ve a través del segundo móvil que se enciende la luz del sensor de proximidad. Del mismo modo es posible ver la luz IR que emiten los teléfonos que disponen de él para manejar la televisión, así como los propios mandos de televisión y otros aparatos electrónicos, cuando se pulsa cualquier tecla.

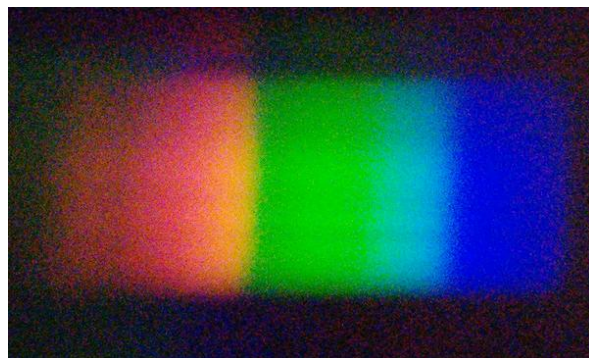
Sensores externos a teléfonos y tabletas

Altavoces

A través de la entrada jack de 3,5 de los dispositivos móviles se les pueden conectar altavoces de cualquier tipo: mono, estéreo, con caja de bajos, etc., y también vibracionales.

En los nuevos teléfonos puede ser que no encontremos ya la entrada jack, pero vienen con un cable adaptador para la entrada usb tipo C. En todo caso, muchos altavoces pueden conectarse a los teléfonos y tabletas a través de bluetooth.

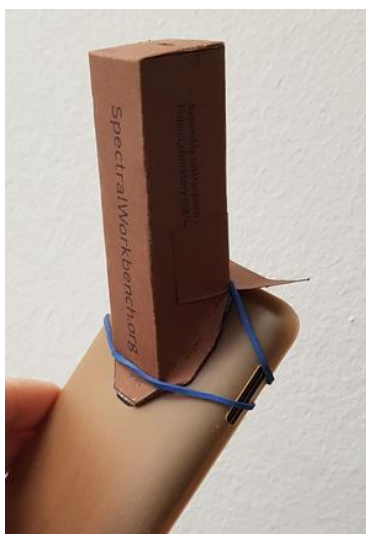
proyecto proporciona (ver Spectralworkbench en las referencias).



Espectro de una lámpara incandescente obtenido con un espectroscopio de cartón de Public Lab

Espectroscopio

Como en el caso de la lupa, siempre se puede acercar la cámara del móvil a un espectroscopio de mano o de mesa y fotografiar lo que se ve, pero también es posible construir un espectroscopio que se acople al teléfono.



El proyecto Spectralworkbench propone la utilización de espectroscopios que ellos venden o también que uno mismo puede construir fácilmente en cartón gracias a los esquemas que el propio

Fotocélula/fotopuerta

Uno de los sensores más interesantes para el estudio de la cinemática es una fotopuerta. Puede hacerse servir como fotopuerta el sensor de luz o de proximidad del móvil pero R. Wisman y K. Forinash (2013 a) nos proponen la construcción de una fotocélula externa al dispositivo móvil, que es muy fácil de realizar y que funciona muy bien.

La fotocélula que podemos hacer nosotros mismos se conecta a la entrada de los auriculares de la tableta o del teléfono móvil (mejor si la pantalla es grande) y se usa conjuntamente con la aplicación Audiotime + de los mismos autores.

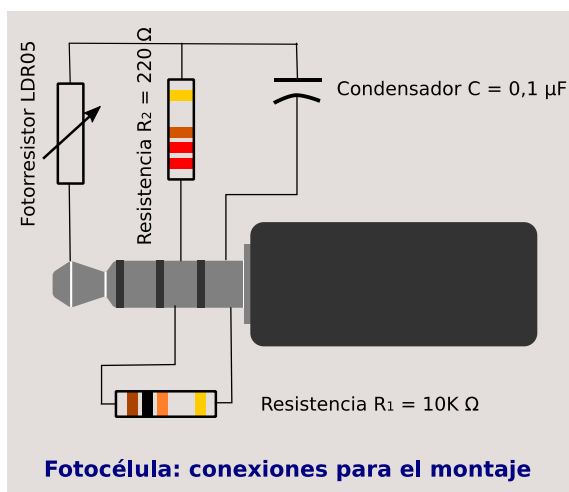
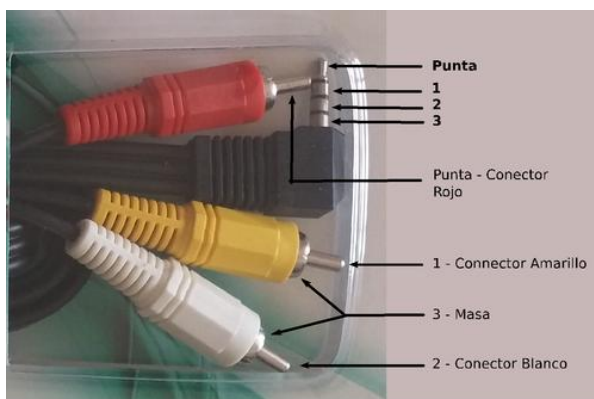
Construcción de la fotocélula

Para construir la fotocélula se debe comprar un jack de cuatro bandas y 3,5 mm y cable eléctrico, o mejor un cable conector estéreo o de vídeo de 3,5 mm y cuatro bandas ya hecho como el de la foto de abajo. Deben ser de 3,5 mm para que puedan enchufarse en la entrada de los auriculares.



Hay conectores para diferentes funciones con cables de diferentes colores conectados de diferentes maneras, y de diferentes precios. Yo uso los que encuentro baratos, independientemente de su finalidad, como el de la foto a 3 €, . Los venden en las tiendas de informática, en las de electrónica y en los bazares chinos.

En el caso del conector de la foto de abajo las conexiones entre las bandas del jack y los cables que salen del jack son las que se indican, aunque varían según la función del conector que se compre. Lo que hay que hacer es comprobar con un polímetro, en su función de medidor de resistencias, entre qué dos extremos la resistencia que se mide es prácticamente nula.



Además, para montar el circuito de la fotocélula se necesita comprar una (o dos) fotorresistencias LDR (3 €), dos resistencias de carbón de 220 Ω y 10 K Ω (10 de cada, 1 €) y un condensador de 0,1 μF (0,5 €), y soldar los elementos a los cables que salen del conector (no a la punta del jack) según el esquema anterior, una vez cortados los terminales rojo, amarillo y blanco y pelados los cables.

Se necesitara un soldador, estaño y un poco de habilidad, pero si no tiene, seguro que se podrá encontrar ayuda en algún compañero o compañera de Tecnología.

Se pueden soldar dos fotorresistencias en serie si se quiere disponer de una fotocélula doble. Las fotorresistencias tienen aproximadamente una resistencia de 120 k Ω en la oscuridad y de 5 k Ω bajo la luz.



Funcionamiento de la fotocélula

La aplicación AudioTime + envía a través de la salida de los auriculares una señal de frecuencia 4000 Hz al circuito de la fotocélula y registra la señal de retorno en la entrada del micrófono. La amplitud de esta señal de retorno disminuye si la fotorresistencia no está iluminada.

La señal no baja instantáneamente cuando la fotorresistencia se oscurece, sino que disminuye paulatinamente cuando se tapa. También, debido a los efectos de histéresis, la bajada en el gráfico es ligeramente asimétrica cuando la fotorresistencia deja de recibir luz. Para minimizar estos problemas

es conveniente iluminar directamente la fotocélula con un puntero láser. Así cuando pasa un objeto ante la fotorresistencia el cambio de iluminación es mucho mayor que sólo con la luz ambiental y el salto en la señal es más repentino, nítido y simétrico.

Lupa

Como en el caso del espectroscopio, siempre se puede acercar la cámara del móvil al ocular de una lupa o a un microscopio y fotografiar o filmar lo que se ve, pero también se pueden comprar lentes a bajo costo (4-10 €) que se acoplan al objetivo de la cámara del dispositivo móvil y la convierten en una lupa de una calidad muy aceptable y que se puede utilizar en cualquier sitio.



Micrófono

A través de la entrada jack de 3,5 del teléfono o tableta se puede conectar cualquier micrófono.

Los micrófonos baratos (menos de 4 €) que tradicionalmente se usaban con los ordenadores funcionan perfectamente en la mayoría de experimentos de física.



Aplicaciones

ActionDirector

Cuando se graban videos de movimientos para su análisis posterior a veces es conveniente disponer de una aplicación para la edición vídeo que permita cortar la filmación y reducirla apenas al movimiento que interesa estudiar, de manera que pese menos el archivo, no haya que buscar dónde está el movimiento que interesa y sea más fácil trabajar con él.

Hay cientos de aplicaciones de edición de vídeo para móviles y tabletas. Yo utilizo para cortar los vídeos el editor de video **ActionDirector**, que es muy sencillito y que también permite acelerar y ralentizarlos, girarlos y hacer que vayan hacia atrás. Eso sí, la versión gratuita señala el vídeo con una pequeña marca de agua en una esquina y la de pago vale menos de 4 €.

ActionDirector



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cyberlink.actiondirector&hl=es>

Albedo: A Reflectance App

Albedo: A Reflectance App



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.h2optics.albedo>

La aplicación **Albedo: A Reflectance App**, realizada por miembros de la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad de Maine, es capaz de medir automáticamente el albedo de una superficie

por relación a una tarjeta fotográfica de grises del 18%.

La aplicación cuesta 1,13 € aunque merece la pena pagarlos. También se ha de conseguir una tarjeta de grises de las utilizadas en fotografía.

Audiotime+ - Ciencia móvil

Una de las aplicaciones más interesantes y más versátiles es **Ciencia Móvil - AudioTime+** ya que permite la experimentación en diferentes campos de la Física. Es una aplicación que registra las señales del micrófono o de la entrada jack de audio del dispositivo. Esto último le permite, por ejemplo, recibir información de una fotocélula conectada.

Ha sido realizada por R. Wisman y K. Forinash, profesores de informática y de física en la Universidad de Indiana (EE.UU.). El diseño de la app está pensado para ser utilizada en una tableta o en un teléfono móvil grande.

Ciencia Móvil - AudioTime+



<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.iu.s.audiotimeplus>

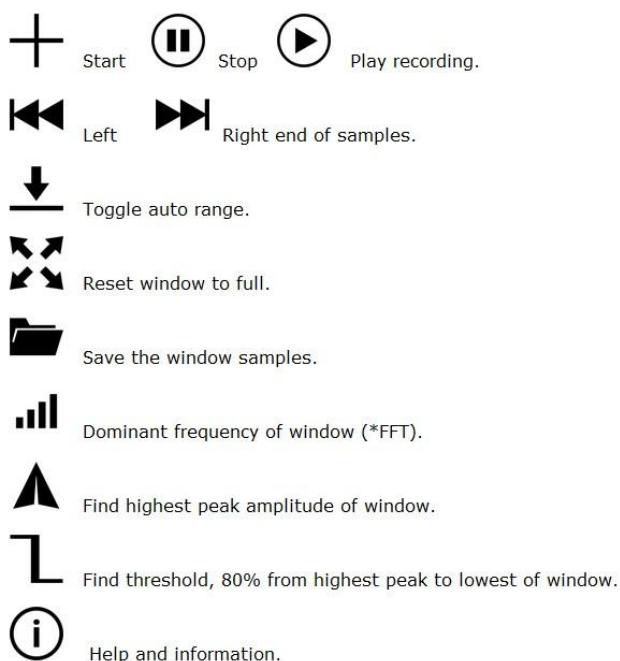
Esta aplicación se utiliza para medir el tiempo transcurrido entre dos sonidos. Todos los teléfonos y tabletas tienen una aplicación que permite grabar voz, pero no hay apps que, además de hacer esto, permitan visualizar el sonido y hacer medidas sobre la gráfica y manipularla.

Siempre es posible guardar el archivo de voz y pasarlo a un ordenador para analizarlo con Audacity, pero con AudioTime+ también se pueden realizar estas acciones en un dispositivo móvil una vez que se ha grabado el sonido a través del micrófono del propio aparato o con un micrófono externo conectado por la entrada de auriculares.

Básicamente el funcionamiento de la aplicación en la interacción con la pantalla es:

- Tocando con un dedo la pantalla se marca una línea. Si se toca en otro punto de la pantalla se visualizan los registros en un intervalo de tiempo de color amarillo.
- Si se arrastra una de las marcas se modifica el intervalo amarillo. Arrastrando dos dedos a la vez se puede hacer zoom.
- Si se golpea dos veces la pantalla se eliminan los marcadores de color amarillo.

Y las funciones asociadas a los botones son:



Advanced Spectrum Analyzer PRO

Las aplicaciones que integran la obtención de datos de diversos sensores del teléfono (suites) son capaces de analizar un sonido y extraer su frecuencia fundamental mediante un análisis de Fourier, pero en general dan el valor mientras se está produciendo el sonido y, en cuanto para desaparece la información de la pantalla.

Advanced Spectrum Analyzer PRO es una app que muestra en tiempo real una gráfica de la intensidad de las diversas frecuencias que va

analizando y a la vez es capaz de retener los picos obtenidos, de manera que se pueden estudiar una vez el sonido ha terminado, lo que resulta mucho más cómodo.

Advanced Spectrum Analyzer PRO



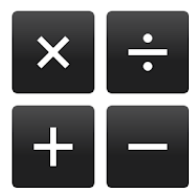
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vuche.asap>

Calculadora

Todos los teléfonos incorporan por defecto una calculadora más que suficiente para los cálculos habituales en un laboratorio escolar. Por defecto aparece la calculadora básica para sumar, restar, multiplicar y dividir, pero acudiendo a los ajustes se puede convertir en una calculadora científica.

Cuando los teléfonos móviles no eran inteligentes ya incluían una calculadora básica, pero como entonces eran pocos los estudiantes que disponían de teléfono y sí de calculadoras científica escolares, no utilicé con ellos esta posibilidad.

RealCalc



<https://play.google.com/store/apps/details?id=uk.co.nickfines.RealCalc>

Si el teléfono o tableta no dispone de la opción de calculadora científica se puede acudir a descargar alguna de las centenares que se ofertan en las tiendas de aplicaciones. Utilizo la calculadora **RealCalc**. No es la más completa pero a mí me resulta muy cómoda por lo tradicional de su estructura.

Color grab

Color grab



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.loomatix.colorgab>

Color grab es una aplicación excelente para averiguar cuál es exactamente el color al que se enfoca con la cámara. Proporciona los colores en valores hexadecimales, en HSV, en RGB, y muchísimos más, así como el nombre del color en inglés.

Color Mixer

Color Mixer es una aplicación que permite combinar colores de manera aditiva y ver los resultados automáticamente.

Color Mixer



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nitramite.colormixer>

Cronómetro

Todos los teléfonos disponen por defecto de una aplicación denominada reloj, alarma, despertador o similar que también normalmente incorpora en su interior un **cronómetro**. De hecho, los primeros móviles, aquellos que no eran inteligentes, ya incorporaban esta aplicación, de manera que fue la primera utilidad que les encontré para su uso en el laboratorio.

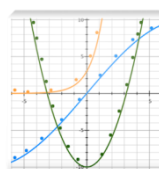
Si el teléfono o tableta no dispone de cronómetro en las tiendas de aplicaciones hay centenares. Eso sí, es muy conveniente que el cronómetro sea capaz

de contar tiempos intermedios en una misma carrera y no solo el tiempo total.

Curbe Fitting Tool

El análisis de datos que hacen algunas aplicaciones, si lo hacen, es bastante limitado. Si se quiere profundizar se puede pasar el archivo con los datos obtenidos a un ordenador y tratarlos allí con una hoja de cálculo o un programa específico como es SciDavis, pero también se pueden estudiar en el propio teléfono.

Curbe Fitting Tool



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ashermobile.math.curvefitterfree>

Hay una aplicación muy buena (Lab Plot and Fit) que permite la importación de datos desde un archivo y realizar después un análisis de datos gráfico y numérico, pero si se desea una sencillita nos podemos contentar con **Curbe Fitting Tool**, en la que se pueden hacer análisis de regresión una vez que se han entrado los datos manualmente.

Eso sí, el número de valores a introducir debe ser limitado, pero Curbe Fitting Tool permite el análisis lineal, cuadrático, polinómico, logarítmico, exponencial y potencial, lo que cubre de sobra todas las posibilidades que puedan aparecer en un laboratorio escolar.

Eclipse Calculator 2.0

Eclipse Calculator 2.0



<https://play.google.com/store/apps/details?id=calcEclipsi2.src>

Eclipse Calculator 2.0 es una aplicación Android para el cálculo de eclipses y tránsitos planetarios elaborada por el profesor Eduard Masana, de la

Universidad de Barcelona. Aporta toda la información para saber dónde, cómo y cuándo van a suceder.

aplicación está pensado para usarla en un aparato que disponga de sensor magnético y con una pantalla que no sea pequeña (a no ser que uno sea joven y/o con buena vista).

Function Generator

Function Generator es un generador de ondas estupendo. Permite generar frecuencias de cualquier valor hasta 20 kHz por cada uno de los canales, independientemente. La aplicación ha sido realizada por Keuwlsoft, que ha desarrollado más 20 de gran calidad y que no piden ningún permiso innecesario para instalarlas.

Function Generator



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.functiongenerator>

Esta aplicación de keuwlsoft tiene muchas más prestaciones como puede ser la del emitir la misma o una frecuencia diferente para cada uno de los canales izquierdo y derecho, que por ejemplo, se puede hacer servir para producir batidos o para experimentar con interferencias sonoras. En la página web de los autores se encuentra un manual en inglés (Keuwlsoft, 2018).

Dado el diseño gráfico de la app es conveniente usarla en tableta o en un teléfono con pantalla grande para poder pulsar con los dedos con comodidad.

Gauss meter

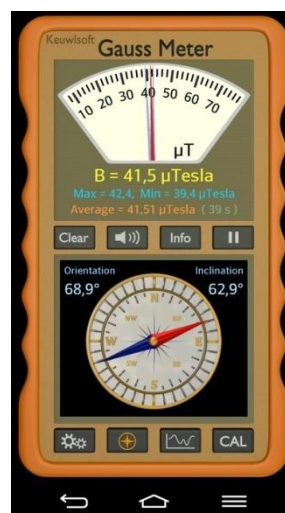
Del mismo autor que Function Generator (Keuwlsoft) es esta **Gauss meter** que proporciona directamente el valor del campo magnético medido por el sensor del teléfono o la tableta y las componentes de este campo en los tres ejes del teléfono. También se puede visualizar una brújula y los valores de la orientación (orientation) y la inclinación (inclinación) magnética. El diseño de la

Gauss meter



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.gaussmeter>

La brújula de Gauss Meter proporciona gráficamente la dirección del norte magnético (parte roja de la aguja) y numéricamente el valor en grados sexagesimales de la desviación de la aguja (Orientation, en el caso de la figura 68,9°) respecto a la eje Y del teléfono (N, de Norte en la brújula dibujada). La app también muestra el campo magnético del lugar en microteslas (μT) que, en ausencia de otras perturbaciones, será el generado por la Tierra (en el caso de la figura, 41,5 μT).



La aplicación permite su calibrado manual, aunque de entrada ya viene bastante bien calibrada de cara a hacer estudios escolares. Ahora bien, es posible que el sensor del teléfono no funcione bien en un momento determinado y dé valores disparatados. En este caso se puede recalibrar automáticamente moviendo el teléfono en vertical haciéndole hacer la figura de un ocho, como indica la ayuda de la aplicación Google Maps.

GoPhoton! Colores

Con motivo del Año Internacional de la Luz 2015, el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) de Barcelona elaboró dos aplicaciones muy interesantes bajo el título genérico de **GoPhoton!**. La aplicación **Colores** permite la descomposición en verde, azul y rojo de la escena que está mirando en ese momento la cámara fotográfica y realizar estudios, por ejemplo, de la afluencia de sangre a la cara.

GoPhoton! Colores



https://drive.google.com/open?id=1hgSt_KPhAgDdttdJ3VzNjS8xiusulQnC

Tanto esta aplicación como la siguiente (Heart Rate) ya no están disponibles en la tienda de Google, así que el enlace dirige a la apk en mi Drive.

Gophoton! Heart Rate

Gophoton! Heart Rate



<https://drive.google.com/open?id=1zp7z54f4WYN1PtFQLxu201R6cJcm1Co6>

Heart Rate es una aplicación del Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) que mide las pulsaciones colocando un dedo en el objetivo de la cámara fotográfica del teléfono.

Grabadora de video

Se necesita la app de la **cámara** que lleve por defecto la tableta o el móvil para realizar fotos y

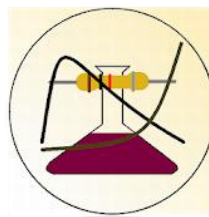
grabar vídeos, y analizar las imágenes posteriormente.

Es conveniente que la aplicación que grave los vídeos permita ajustar el número de imágenes por segundo que tiene que grabar así como el tamaño de la resolución de la filmación. Con 20 imágenes por segundo y una resolución de 720x480 píxeles es más que suficiente.

Lab Plot n Fit

Lab trazar y ajuste tiene un montón de prestaciones y es capaz de importar datos de archivos en formato .txt, .csv y .dat de aplicaciones como Physics Toolbox o Vidanalysis. Tiene la pega que es de pago, aunque su precio es inferior a 4 €.

Lab Plot n Fit / Lab trazar y ajuste



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.abhipod.abhimonlabplotnfit>

La aplicación la ha hecho el profesor indio de electrónica Abhijit Poddar que la ha traducido al castellano, por lo que es fácil consultar en la misma aplicación la ayuda para cada una de las acciones a realizar.

Media Converter

Si queremos utilizar un vídeo que nuestro teléfono o tableta no es capaz de visualizar deberíamos convertirlo a formato .mp4. Hay que descargar la aplicación **Media Converter**, abrirla, seleccionar el vídeo y darle a convertir a mp4.

Media Converter



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.AndroidA.MediaConverter>

Mostrador de radioactividad

Mostrador de radioactividad es una aplicación muy interesante que convierte el sensor de la cámara fotográfica de nuestro teléfono en un detector de radiación beta y gamma por 3,5 €.

Hay que calibrar previamente el teléfono y tapar con varias capas de cinta aislante el visor de la cámara para que no pueda pasar nada de radiación de baja energía. En Google play y en la página web del autor de la aplicación se dan las instrucciones de calibrado y utilización

Mostrador de radioactividad



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rd.klein.radioactivity>

Oruxmaps

Oruxmaps



<https://www.oruxmaps.com>

La aplicación de senderismo más utilizada posiblemente sea Wikiloc, pero a mí me gusta mucho **Oruxmaps** que utiliza las mismas rutas estándar, mapas en línea y fuera de línea y es gratuita si se baja directamente la apk desde la página de la organización. Se puede descargar desde Google play haciendo un donativo de 3,6 €

PhyPhox

Es una de las suites más interesantes y con más posibilidades de las que integran la obtención de datos de los diferentes sensores de los dispositivos móviles.

Los físicos de la Universidad de Aquisgrán que han desarrollado la suite **Phyphox** ((Physical Phone experiments, android y iOS) han integrado en ella, además de la posibilidad de hacer mediciones directas con los sensores del teléfono, diferentes experimentos de física que facilitan la toma de datos ya elaborados.

Además la misma aplicación facilita que pueda ser controlada y monitorizada a distancia en otro dispositivo diferente conectado a la misma red vía web

PhyPhox



https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=es

Cómo usar la aplicación y muchos ejemplos en vídeo de experimentos a realizar con ella se encuentran en su página web.

Physics Toolbox Sensor Suite

Para mi gusto **Physics Toolbox** (android y iOS) es la mejor de las suites que integran la obtención de datos de los diferentes sensores de los dispositivos móviles. Es la que utilizo por defecto, como se verá en la descripción de los diferentes experimentos de este documento.

La empresa Vieyra Software, además de Physics Toolbox Sensor Suite, dispone de un conjunto de aplicaciones independientes para casa sensor, de manera que en el caso de que en el teléfono no pueda instalar la suite, se puede bajar cada aplicación por separado.

Physics Toolbox Sensor Suite

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

La página web de la aplicación es muy rica en propuestas de todo tipo y merece la pena suscribirse a sus noticias.

SciDavis

SciDavis es un programa para ordenador (Linux, Windows y Mac) que permite visualizar y analizar datos experimentales de manera fácil, con una interfaz gráfica de usuario intuitiva, que hace unas graficas estupendas y las analiza proporcionando la ecuación de la curva correspondiente.

SciDavis

<http://scidavis.sourceforge.net>

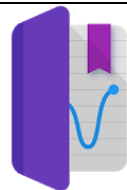
He traducido al catalán una *Breve Introdução ao SciDAVis* escrita por Fellype do Nascimento, que es suficiente para aprender a realizar con este programa las gráficas y los cálculos correspondientes a los estudios y experimentos de la educación secundaria (Ramírez, 2011).

Science Journal

Science Journal (android y iOS) es la tercera suite a considerar. Está desarrollada por Google con una interfaz muy atractiva y con propuestas relacionadas con ella en su página web.

Tiene un enfoque diferente a las otras dos suites que yo utilizo ya que parte de la elaboración de un

informe en el que incluirá si hace falta un experimento.

Science Journal

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.forscience.whistlepunk>

Smart Transportador

Smart Transportador hace el papel de un transportador de ángulos y en combinación con la cámara fotográfica permite ver y hacer fotografías del fondo.

Smart ToolsTransportador

<https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.protractor>

Sky Map**Sky Map**

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.stardroid>

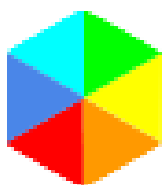
Gracias al sensor magnético y al GPS de los dispositivos móviles, la aplicación **Sky Map** es capaz de representar en la pantalla las posiciones de los astros sólo con enfocar hacia el lugar del que se desee tener el mapa del cielo.

Inicialmente desarrollada por Google, ahora es de dominio público aunque sigue atendida por los mismos técnicos que la realizaron.

SpectralWorkbench

SpectralWorkbench es una aplicación embebida en la página web del mismo nombre que permite realizar análisis cuantitativos de espectros de emisión o absorción.

SpectralWorkbench

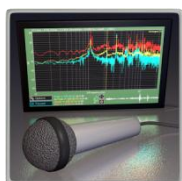


<https://spectralworkbench.org/>

Spectrum Analyser

Spectrum Analyser, igual que Advanced Spectrum Analyzer pro, analiza los sonidos mediante la transformada rápida de Fourier (o *FFT*, *Fast Fourier transform*), lo que permite obtener la frecuencia fundamental del sonido.

Spectrum Analyser



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.spectrumanalyzer>

SPL Meter.

SPL Meter es un sonómetro de keuwlsoft que realiza bien su función. Permite su calibrado, lo que muchas veces es difícil por no disponer de un sonómetro de referencia testado, pero a su vez da opción a calibrar varios dispositivos a la vez de la misma manera y obtener valores comparables.

SPL Meter



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.splmeter>

Teamviewer

Teamviewer es un programa de ordenador y una aplicación para tabletas y teléfonos que permite el control a distancia de unos a través de otros. Así es posible la monitorización en la pantalla del ordenador de lo que está pasando en el móvil. La utilización del programa y las aplicaciones es gratuita para uso individual.

Teamviewer



<https://play.google.com/store/search?q=Teamviewer&c=apps>

Tracker

Tracker



<http://physlets.org/tracker/>

Tracker es un extraordinario programa de ordenador que funciona en todos los sistemas operativos y que es capaz de trabajar con cualquier tipo de formato de vídeo.

Su utilidad principal es el punteo y análisis de videos de movimientos, por lo tanto en el campo de la Mecánica.

VCL

VCL es el mejor reproductor de vídeos. Reproduce todos los formatos en todos los sistemas operativos y dispositivos. Los controles avanzados (en ver) de la versión para ordenador permite el análisis de los vídeos.

VCL



<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.videolan.vlc>

Vidanalysis

Con **Vidanalysis free** se puede realizar el punteo de los vídeos para obtener datos del movimiento y automáticamente presenta las gráficas de la posición, de la velocidad y de la aceleración frente al tiempo, y además permite guardar las gráficas y los datos en formato .csv para su análisis posterior.

Vidanalysis es igual que Vidanalysis free pero sin propaganda.

Vidanalysis free también ofrece la posibilidad de dibujar una línea de tendencia, pero debe ser uno mismo el que haga la sugerencia de ecuación con valores numéricos concretos para las constantes del movimiento, es decir, no analiza si la función $a \cdot x^b$ es correcta, se debe introducir $2 \cdot x^3$, por ejemplo, y comprobar a simple vista cuánto te has aproximado. En la página web de la aplicación hay un Minimanual (Steele, 2015).

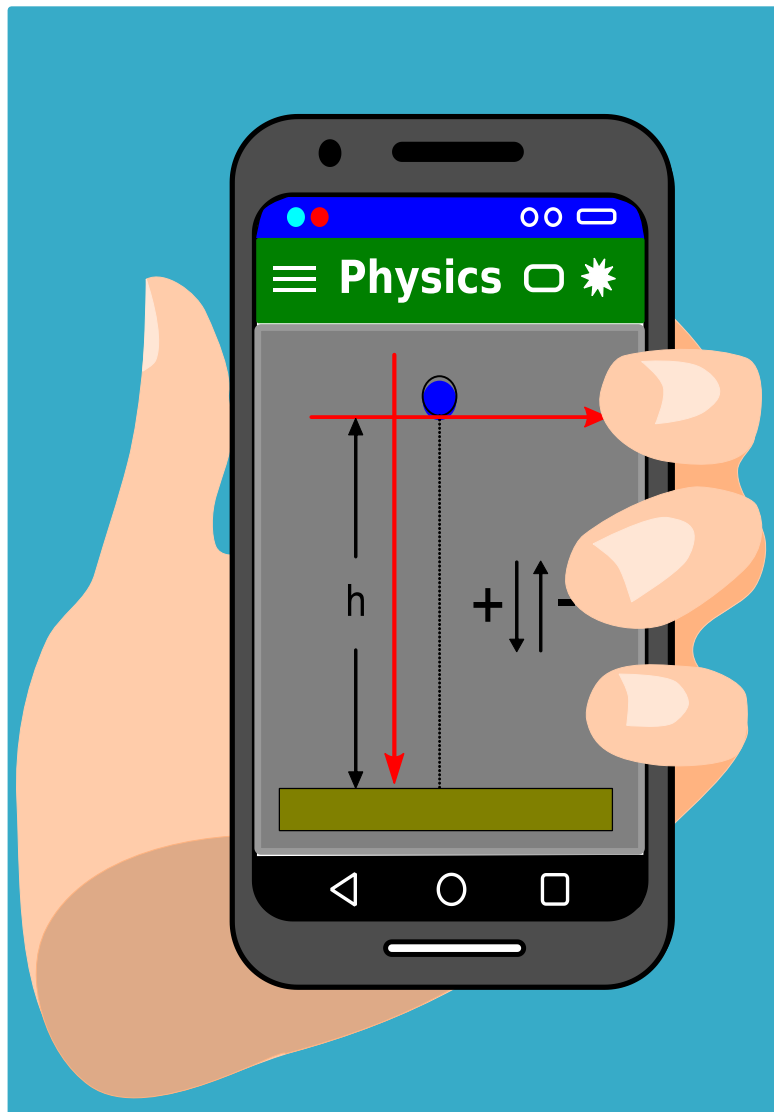
Vidanalysis Free



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.videolan.vlc>

Si en lugar del dedo se usa un ratón conectado a la tableta mediante un cable USB OTG (On The Go), el punteo es más preciso y los datos obtenidos son mucho mejores. El cable OTG permite conectar al teléfono, además del ratón, muchos periféricos, como por ejemplo un lápiz de memoria. Tienen un precio muy asequible (2-3 €).

Movimientos



1 Movimientos al aire libre

Empezaremos esta serie de experimentos con el soporte de teléfonos móviles y tabletas utilizando el reloj interno del móvil, la calculadora y su GPS para estudiar los movimientos de paseo o carrera que los estudiantes realizan habitualmente a pie o con bicicleta.

Estos experimentos se pueden realizar ya en el primer ciclo de la educación secundaria obligatoria.

Aplicaciones y material a utilizar

La aplicación **cronómetro** que por defecto lleve el teléfono o la tableta. Si no nos gustara la que lleva, en las tiendas de aplicaciones hay centenares entre las que elegir.

Calculadora. Todos los teléfonos incorporan por defecto una calculadora más que suficiente para las tareas necesarias en esta experiencia: sumar y dividir.

En la segunda experiencia utilizaremos una aplicación que registre la posición y el recorrido que se realice, como son las utilizadas en actividades deportivas, por ejemplo Orusmaps, Wikiloc, o las llamadas de salud, como es el registro de Google Fit. Yo he elegido **Oruxmaps**, que es una aplicación de código abierto muy completa que permite grabar y seguir recorridos y compartirlos con otros deportistas. Pongo el enlace directo a la web ya que en Google Play sólo está la versión de donación (3,59 €). Se puede encontrar un manual para Oruxmaps en la misma web.

Orusmaps



<http://www.oruxmaps.com>

En cuanto al **material** a utilizar, se necesita una cinta métrica larga, de 5 m o más, y opcionalmente una bicicleta.

Realización

El movimiento uniforme es el más sencillo de estudiar ya que en él la velocidad es constante y su cálculo no requiere más que la división entre la distancia recorrida y el tiempo transcurrido, al menos en las primeras fases del estudio de la cinemática

$$v = \frac{d}{t}$$

Para estudiar gráfica y matemáticamente el movimiento aproximadamente uniforme de una **persona caminando** se ha de salir del aula al pasillo o, mejor, al patio.

Con la ayuda de la cinta métrica y una tiza se marcan en el suelo posiciones sucesivas en línea recta separadas entre sí una distancia igual, por ejemplo de 5 m.

Un estudiante se coloca en la primera marca y a la voz de preparados, listos, ya! empieza a caminar pasando por encima de las sucesivas posiciones marcadas.

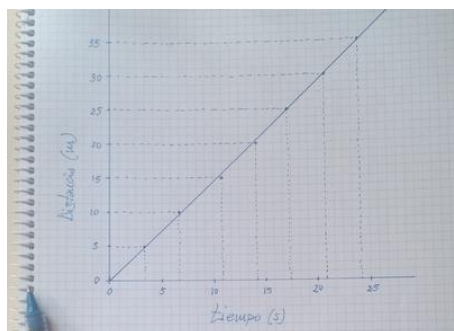
La medida de los tiempos en los que pasa por los puntos marcados la puede realizar el mismo estudiante que camina, poniendo en marcha el cronómetro del móvil en el momento de iniciar la marcha y pulsando en la correspondiente tecla del teléfono cada vez que sobrepasa una línea o, si se dispone de más teléfonos, la pueden realizar diversos compañeros que se colocan en cada una de las marcas del camino y ponen en marcha el cronómetro a la vez a la voz de ya!

Si solo se utiliza un teléfono se obtienen unos datos parecidos a los de la figura de al lado, conseguidos con marcas cada 5 m.

Los datos obtenidos los apuntan los alumnos en su libreta de laboratorio y realizan los cálculos de

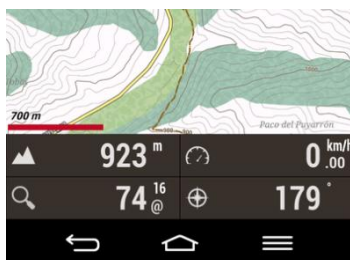


las velocidades medias parciales y global con ayuda de la calculadora física o de la calculadora virtual de su móvil. También representan en un gráfico los valores de distancia y tiempo necesario para recorrerla, con el tiempo en abscisas como se muestra en la fotografía de la libreta de abajo.



Los valores de distancia y tiempo se podrían introducir en una aplicación adecuada, como veremos en otros experimentos, que dibujara la gráfica y aportara los valores de la línea de tendencia, pero, si el experimento se realiza en el primer ciclo de la ESO, es preferible y suficiente que los estudiantes construyan la gráfica y visualicen que la relación entre la distancia y el tiempo es una línea recta, es decir, es directamente proporcional.

Si los profesores de Educación física sacan a los alumnos a **andar en bicicleta**, o bien como tarea individual fuera de las horas de clase, se puede pedir a los chicos y chicas que lleven su teléfono y graben el recorrido con una aplicación como **Oruxmaps**.



De entrada, y tal como se ve en la figura anterior, gracias al GPS estas aplicaciones proporcionan en tiempo real la velocidad a la que se va, aunque en este caso el que ha tomado la instantánea está parado y por eso marca 0 km/h.

Antes de comenzar la excursión se ha de encender el GPS del teléfono y pulsar el botón de grabar de la aplicación. Al terminar la salida se debe detener la grabación.



Una vez realizado el recorrido se pueden ver las estadísticas de la vuelta, donde aparecen las distancias recorridas, los tiempos totales, el tiempo en movimiento, etc., lo que permite a los estudiantes recalcular los valores que da la máquina y analizar el recorrido.

Observaciones

* El primer experimento andando o corriendo con marcas en el suelo se puede hacer en bici y saldrán velocidades mayores, lo que permitirá hacer comparaciones.

A la inversa, el segundo experimento también se puede hacer caminando, pero en este caso la aplicación no dará la velocidad instantánea bien ya que el GPS normalmente presenta un error en la medida de posición de 10 m. Para distancias mayores (un paseo) y/o velocidades mayores (bici, coche) el error relativo se minimiza y la medida es bastante buena, pero para medir directamente una velocidad entre 2 y 4 km/h el error es muy grande.

* Unas situaciones que pueden aprovechar los chicos y chicas para estudiar el movimiento son las salidas familiares en coche. Pueden medir los tiempos entre hitos de la carretera, calcular la velocidad y compararla con la que proporciona el velocímetro de coche. También pueden usar la aplicación Oruxmaps para visualizar directamente la velocidad a la que va el coche o para grabar el recorrido entero o una parte.

2 Midiendo el tiempo en caída libre

Este experimento también se podría titular “Cálculo de la aceleración de la gravedad en la caída libre”. La caída libre que se estudia es la de un objeto que está inicialmente colgado de un hilo a una altura determinada del suelo. Se mide el tiempo que pasa entre el sonido del clic de las tijeras al cortar el hilo y el ruido del clonc del objeto al chocar contra el suelo. La ecuación de la posición en función del tiempo del movimiento uniformemente acelerado de caída permitirá calcular la aceleración de la gravedad.

La idea del experimento es de R. Wisman y K. Forinash (2013), que son los autores de la app Audiotime +,

Aplicaciones y material a utilizar

Para medir el tiempo de caída utilizaremos la aplicación Ciencia Móvil - **AudioTime+**, que es capaz de gravar el tiempo entre sonidos con gran precisión.

Ciencia Móvil - AudioTime+



<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.iu.s.audiotimeplus>

También se necesita una bola de vidrio, un poco de hilo y cinta adhesiva, un flexómetro, y unas tijeras

Introducción

La caída libre es la caída de un cuerpo sobre el que únicamente actúa su propio peso, y no se considera el rozamiento. Este fenómeno se produce cuando los cuerpos caen en el vacío o cuando el rozamiento con el aire casi no les afecta.

En la práctica siempre hay rozamiento con el aire y empuje de Arquímedes, pero si el objeto cae a baja velocidad y es aerodinámico y masivo, por ejemplo una bola de acero que se deja caer desde una altura de dos metros, la fuerza de rozamiento es muy pequeña en relación al peso, así como el empuje, por lo que se pueden despreciar y considerar que el cuerpo está sujeto sólo a la aceleración de la gravedad.

Si la aceleración es la de la gravedad, tendrá un valor constante de $9,8 \text{ m/s}^2$ y el movimiento será uniformemente acelerado (MRUA), y por tanto se pueden utilizar las ecuaciones de este movimiento.

La ecuación de la posición del MRUA es:

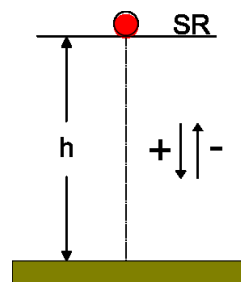
$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

Donde **y** es la posición en cualquier momento, **y₀** es la posición inicial, **v₀** es la velocidad inicial y **g** es la aceleración de la gravedad. Si **y** se mide en metros (m) y **t** en segundos (s), **v** vendrá dada en m/s y **g** en m/s^2 .

Las magnitudes siempre dependen del sistema de referencia. Si se deja caer una bola desde una altura **h** y se sitúa el sistema de referencia en la posición inicial de la bola, se puede usar un convenio de signos que considere positivo hacia abajo y negativo hacia arriba, como indica la figura de más abajo. En este caso la ecuación de la posición en relación al tiempo será:

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

ya que la posición inicial es cero, la celeridad inicial también es cero (parte del reposo) y la **g** es positiva ya que es hacia abajo. También se considera el rozamiento suficientemente pequeño para despreciarlo.



Esquema de la caída libre y el sistema de referencia

Lo que se pretende en este experimento es contrastar si el valor de la aceleración de la gravedad en el caso real de una bola masiva se acerca al reconocido universalmente. Para ello se sustituirán los datos, que se obtendrán experimentalmente con la aplicación para tabletas y teléfonos móviles AudioTime+, en la ecuación de la posición en función del tiempo.

Realización

Se pega con cinta adhesiva la bola a un hilo de coser y se cuelga de un soporte a una altura

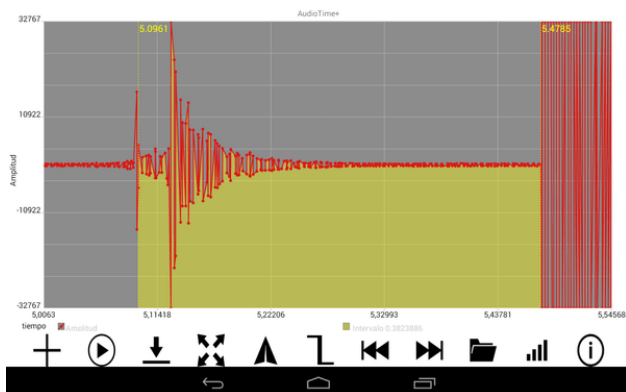
determinada del suelo, por ejemplo a un metro. En un momento determinado se corta el hilo con las tijeras con un golpe seco mientras se graban los ruidos que hacen las tijeras y el ruido clonc de la bola contra el suelo. Si se ha medido la altura y ahora se mira el tiempo entre los dos ruidos registrados ya se puede calcular la aceleración de la gravedad. A continuación se detalla.

Se ha de colgar el hilo en un soporte que permita que la bola pueda caer libremente al suelo, y se mide cuidadosamente la altura a la que queda. La medida rigurosa de la altura es fundamental ya que es la magnitud en la que se puede cometer el error más grande. Aquí los alumnos pueden mostrar el ingenio que tienen diseñando varios montajes.

Se enciende el dispositivo móvil y se abre la aplicación AudioTime+. Se pone la tableta o teléfono a la altura de la mitad del recorrido de la bola, pero sin que dificulte su caída, y se inicia la grabación tomando el botón inicio + de la aplicación.

Ahora es el momento de cortar el hilo con unas tijeras con un golpe seco, procurando hacer ruido, y una vez que la bola ha chocado con el suelo se para la app con el botón pausa ||.

Tocando la pantalla con dos dedos se amplía la imagen hasta que se vean bien los dos ruidos, y se pulsa en el inicio del sonido (clic de las tijeras) y se vuelve a pulsar la pantalla al inicio del siguiente ruido (clonc de la bola). Aparecerá una banda amarilla entre los dos puntos, tal como muestra la figura.



Selección del tiempo entre el sonido inicial de las tijeras y sonido final del choque

En la pantalla se ve el tiempo inicial y final, en segundos y con cuatro decimales, y el valor del intervalo con siete decimales, que es el tiempo que

la bola ha tardado en caer, en este caso una altura de 73,6 cm.

Si se quiere, se puede guardar la grabación pulsando el botón de la carpeta y dándole un nombre. Se guarda en la carpeta Audiotime+.

Se puede repetir el experimento y/o pedir los resultados a otros equipos de la clase para conseguir media docena de medidas. Estos valores de altura y tiempo de caída se introducen en la ecuación de la caída libre y se calcula la aceleración de la gravedad g .

Después de repetir la operación con todas las medidas, se calcula el valor más probable de g como media aritmética de los valores obtenidos y se compara con el que se supone que debería salir.

Observaciones

* Aunque la velocidad del sonido es bastante grande en comparación con la de caída de la bola, no está de más hacer que los tiempos que tardan los dos sonidos al llegar al móvil o tableta sean los mismos. Es por eso que se recomienda colocar el dispositivo móvil en mitad del recorrido.

* Además, la aplicación que utilizamos en este trabajo, AudioTime+, se puede usar para hacer muchos otros experimentos utilizando el tiempo transcurrido entre sonidos. Por ejemplo:

- Estudiar la caída libre de un conjunto de tornillos enganchados entre sí por un hilo, bien guardando distancias iguales o distancias que sigan una función cuadrática. Se registra la sucesión de choques contra el suelo y se estudia el tiempo entre golpes. (Ramírez, 2013)
- El movimiento uniformemente acelerado. Se deja caer una bola por un rail en U en el que se han pegado pedacitos de cartulina a intervalos regulares. Se estudia la relación entre el tiempo entre los choques y la distancia recorrida.
- De forma similar se puede estudiar cómo gira una rueda que a cada vuelta golpea una cartulina. Por ejemplo, puede ser la polea de una máquina de Atwood.

3 Estudio de movimientos con vídeo

Hace muchos años que se utiliza la tecnología de análisis de videos en el ordenador para estudiar movimientos previamente filmados. Nos iniciamos con el programa de ordenador **Vidshell**, ya desaparecido, pero después de trabajar con otros programas cuando le hemos sacado todo el jugo a esta tecnología ha sido con el magnífico **Tracker**, que es capaz de trabajar con cualquier tipo de formato de vídeo.

De la misma forma, cuando los teléfonos móviles que en un principio permitían sólo tomar fotografías también fueron capaces de grabar vídeos cortos los utilizamos para que el alumnado hiciera sus propias filmaciones, de pelotas que volaban, de bicicletas corriendo, etc., y luego las llevara a la ordenador para estudiarlas.

Con el boom de las tabletas inteligentes ahora también es posible pensar en utilizarlas tanto para hacer las filmaciones de los vídeos como para el posterior análisis de los movimientos en la misma tableta (la pantalla del teléfono móvil normalmente resulta pequeña para afinar las posiciones de los objetos que se mueven).

Vamos a ver algún ejemplo de análisis de movimientos en una y dos dimensiones.

Aplicaciones y material a utilizar

Vidanalysis Free	
	
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vidanalysis.free	



Necesitaremos la app Grabadora de vídeo que lleve la tableta por defecto y también otra aplicación que permita el análisis de las imágenes y de los datos que se obtienen, como es **Vidanalysis free**.

También necesitamos el vídeo a estudiar y, opcionalmente un ratón con un cable OTG para conectarlo a la tableta.

Realización

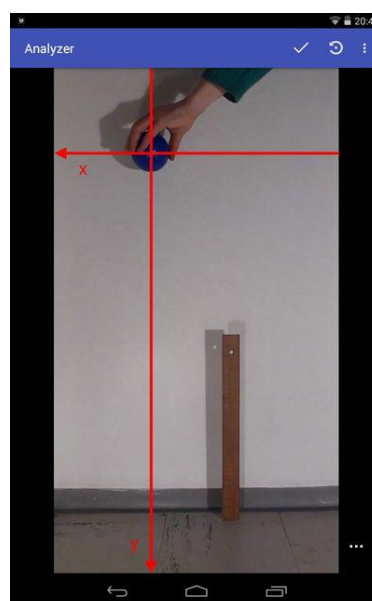
Al igual que hacíamos con las videocámaras y el ordenador, lo primero que hay que hacer es grabar cualquier movimiento que nos interese estudiar, o bien bajar a la tableta el vídeo de aquel movimiento

hecho por otro, como por ejemplo el de la caída libre de una bola (free-fall.mp4) que nos proporciona el mismo autor de la aplicación Vidanalysis, o el del lanzamiento de una pelota de básquet (BASKET.avi), que fue un clásico del Vidshell.

Video free-fall.mp4	BASKET.avi
	
http://vidanalysis.com/?media_dl=56	https://drive.google.com/file/d/1d4CL6od1c19ptvhvpzzfRSQn_pGFTcy3/view?usp=sharing

Para hacer el análisis, al abrir la app VidAnalyss Free aparecen tres opciones: ir a grabar el movimiento, cargar un vídeo ya hecho y la ayuda. En nuestro caso tocamos sobre el símbolo más para cargar el vídeo Free-fall que hemos bajado y luego sobre la pequeña imagen del vídeo que aparece en pantalla.

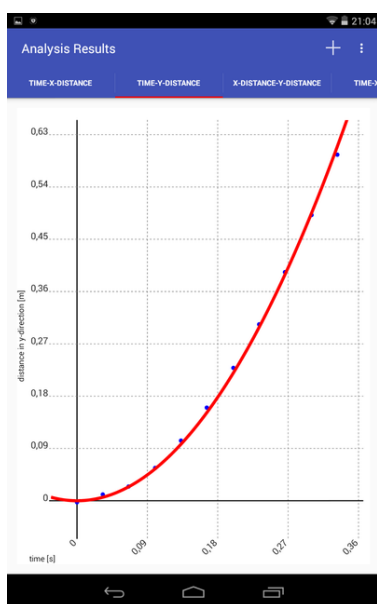
Si pulsar ahora sobre Start analysis la aplicación indica que se marquen los dos extremos de un objeto y se anote su longitud para indicar a la aplicación cuál es la proporción entre las dimensiones de la pantalla de la tableta y las del mundo real del vídeo. En el ejemplo que nos ocupa, la regla tiene unos 40 cm de longitud.



A continuación se debe colocar el origen del sistema de coordenadas y girarlo como convenga. En este

caso de una bola que cae es conveniente poner los ejes a la altura del inicio del movimiento, algo separado hacia la derecha de la bola para que no nos moleste al marcar los puntos de las posiciones sucesivas, y con el eje Y hacia abajo para obtener valores de posición positivos.

Cada vez que se toque una posición de la bola, el vídeo avanzará una imagen y se podrá volver a marcar la nueva posición. Al terminar de puntear las posiciones que interesen, debemos guardar los datos con el nombre de archivo que se desee y ya aparecerán las gráficas automáticamente.



Pulsando el símbolo más (+) podemos añadir una línea de tendencia, pero hemos de introducir nosotros mismos la ecuación que creamos debe representar los datos. Se puede modificar la ecuación tantas veces como deseemos hasta que la línea ajuste lo más posible con los puntos.

El formato de la ecuación ha de ser del estilo:

$$4.7x^2$$

Es decir solo la parte derecha de la ecuación, con separación decimal por punto, utilizando ^ para indicar exponente, y con las operaciones +, - y /.

Por último, al tocar los tres puntos en la parte superior derecha de la tableta aparece un menú donde se puede volver atrás y cambiar la posición de los puntos o exportar los datos como un archivo .csv compatible con hojas de cálculo.

Si queremos un análisis más cuidadoso se deben exportar los datos y trabajarlos con una aplicación específica, como el SciDavis en el ordenador, o el **Lab Plot n fit** en la propia tableta.

Observaciones

* Al grabar y analizar los vídeos es conveniente seguir los siguientes consejos:

Colocar la tableta apoyada en un lugar fijo y perpendicular al movimiento que desee filmar.

Al hacer el diseño del experimento, si se puede hay que intentar que el cuerpo que se mueve sea oscuro contra un fondo de color claro y siempre colocar un objeto de longitud conocida dentro de la visión de la cámara.

Si el movimiento está en pendiente y se desea analizar con Vidanalysis hay que filmarlo con la tableta paralela a la pendiente. Si el vídeo se analiza con Tracker, se puede filmar con la inclinación que desee ya que Tracker permite poner los ejes de referencia con cualquier inclinación.

Al analizar el vídeo, la tableta debe mantenerse con la misma orientación con la que ha sido filmado; si horizontal, horizontal; si vertical, vertical.

Si el objeto que se estudia avanza rápidamente, puede aparecer en el vídeo como una estela. Al puntear, se ha de tocar siempre en la misma posición de la estela (por ejemplo, al inicio).

* Cinética química

También se pueden filmar reacciones químicas en las que se produzcan cambios visibles y estudiar su cinética o las diferentes etapas por las que pasan, por ejemplo los colores del manganeso o la del reloj de yodo. Aquí la aplicación **VCL** es la ideal.

Video Los colores del manganeso	Video Reloj de yodo
	
https://www.youtube.com/watch?v=vwpNv-ANUSY	https://www.youtube.com/watch?v=5AC5McJOO44

3. Medida de la velocidad de un objeto utilizando el efecto Doppler

Si se hace pasar un objeto que emita un tono de una frecuencia determinada, por ejemplo un teléfono móvil, por delante de otro teléfono o tableta que grave el sonido, después será posible analizar la grabación y calcular la velocidad a la que iba el primer objeto, a partir de la medida de la variación de la frecuencia como consecuencia del efecto Doppler.

Aplicaciones y material a utilizar

Las aplicaciones a usar son Ciencia Móvil - **AudioTime+** para grabar el sonido, y **Physics Toolbox Sensor Suite**, por ejemplo, para generar el tono

Ciencia Móvil - AudioTime+	
	
https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.iu.s.audiotimeplus	

Physics Toolbox Sensor Suite	
	
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419	

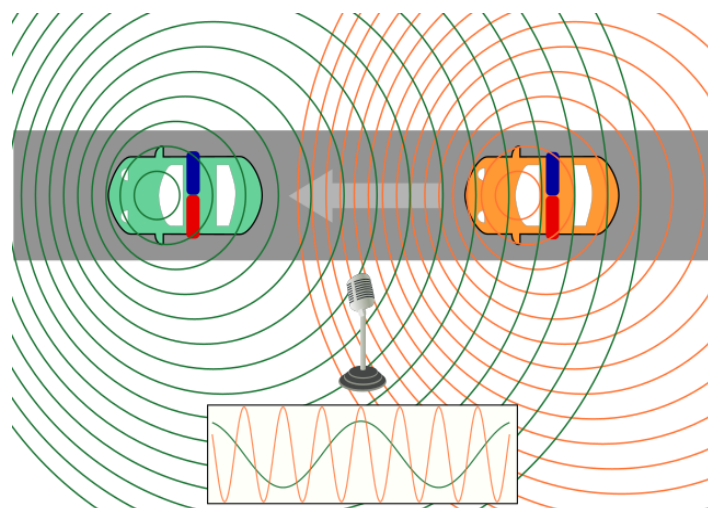
También se necesitan dos dispositivos móviles (tableta o teléfono móvil)

Introducción

El efecto Doppler o también efecto Doppler-Fizeau, consiste en la diferencia entre la frecuencia de una onda sonora (u otro tipo de onda) emitida por una fuente y la frecuencia que percibe un observador debida al movimiento relativo entre la fuente y el observador. El efecto se produce tanto si es la

fuentes sonora la que se mueve, como si es el receptor o si son ambos los que se mueven.

El efecto produce un aumento del tono emitido por la fuente en reposo (hacia más agudo, hacia mayor frecuencia) al aproximarse la fuente al observador y una disminución hacia más grave (frecuencia más pequeña) al alejarse. En la figura se ve representado el cambio de frecuencia de la sirena de un coche según se acerca o aleja el micrófono



Efecto Doppler al acercarse o alejarse un coche. Ekko y Kismalac (CC BY-SA 3.0) via Wikimedia Commons

Esta variación de frecuencia se puede calcular a partir de la siguiente expresión que liga las frecuencias y las velocidades relativas entre la fuente sonora y el receptor (Franco, 2015a):

$$f = f_0 \frac{V - V_R}{V - V_F}$$

Donde f es la frecuencia que percibe el receptor, f_0 es la frecuencia que emite la fuente, V es la rapidez de propagación de la onda sonora, V_R es la celeridad del receptor y V_F es la rapidez de la fuente de sonido.

Si el receptor está quieto y la fuente se acerca se puede aislar la celeridad de la fuente en función de las frecuencias, y la ecuación quedará:

$$V_F = V_{so} \frac{f - f_0}{f}$$

Que es la fórmula que se utilizará en los cálculos que se harán en este experimento.

El estudio del efecto Doppler forma parte de los contenidos de la Física de bachillerato y en muchos casos se muestran ejemplos cualitativos tales como enganchar un zumbador a una cuerda y hacerlo girar por encima de la cabeza y oír como va cambiando el sonido que se percibe, o ver vídeos y simulaciones en el que aparece el efecto Doppler.

Lo que se propone aquí sin embargo es una actividad cuantitativa para profundizar en la comprensión del efecto Doppler midiendo experimentalmente el cambio de frecuencia que se produce cuando un objeto que emite un sonido se acerca o se aleja de un receptor y calculando la velocidad que lleva.

Realización

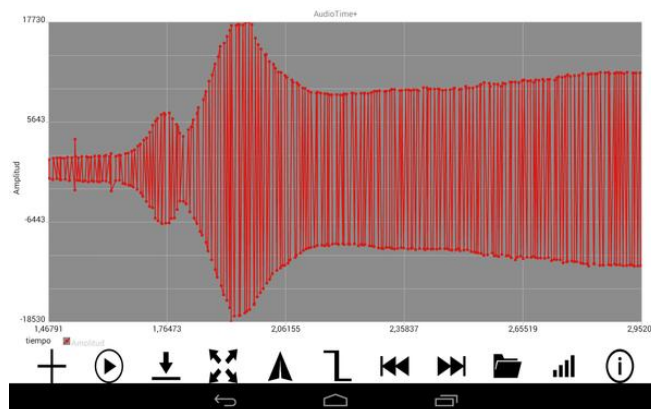
Se trata de recoger en una tableta o teléfono móvil, que esté en reposo, el tono que emite otro aparato que inicialmente está parado y luego se acerca al primero. A continuación, a partir de la grabación, hay que medir las frecuencias en las dos situaciones.

Se empieza poniendo sobre una mesa el dispositivo con la aplicación AudioTime+. En el segundo dispositivo se abre la aplicación Physics Toolbox y se selecciona en generador de tonos una frecuencia de 1.000 Hz por ejemplo y se pulsa el play.

Con una mano se sujeta el teléfono que está emitiendo el sonido a una distancia aproximada de un metro del otro dispositivo. Es el momento de iniciar en la tableta quieta la grabación del tono con la app AudioTime + pulsando el botón de inicio (+) y dejar que grabe unos momentos el sonido sin ningún movimiento, es decir, el tono con la frecuencia que realmente emite la fuente.

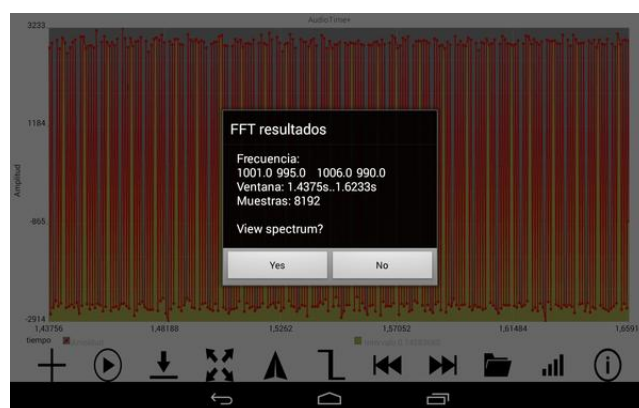
Pasados un par de segundos se debe acercar el teléfono sonoro lo más rápidamente posible al aparato receptor. A continuación ya se puede detener la grabación pulsando el mismo botón del principio. Saldrá una imagen parecida a la figura siguiente.

Se puede guardar la grabación pulsando el botón carpeta si se quiere volver a analizarla con otro programa. Se le da un nombre y se guardará en la carpeta Audiotime + de la raíz del teléfono.



Captura del sonido emitido en reposo y en movimiento

En la pantalla de AudioTime + se amplía con dos dedos un pequeño intervalo de tiempo inicial, cuando todavía el teléfono no se movía, y se pulsa el botón TTF.



Frecuencia del armónico fundamental (4 valores)

Aparecerá una pantalla como la anterior en la que aparece el intervalo de tiempo analizado y cuatro frecuencias fundamentales encontradas. Se debe calcular su promedio para obtener el valor más probable de la frecuencia medida.

Una vez se ha obtenido la frecuencia que emite la fuente, se debe seleccionar una parte de la grabación donde el teléfono móvil se haya movido. La parte en la que la amplitud de la onda sonora crece indica que los aparatos se acercan y, por tanto, que hay movimiento. Hay que volver a hacer el análisis de Fourier para esta parte y obtener el valor de la nueva frecuencia.

Es de suponer que el valor de la frecuencia que se mide cuando hay movimiento es mayor que cuando el móvil está parado. Ahora con los valores de las frecuencias obtenidas se puede calcular la celeridad con la que se ha movido el teléfono usando la ecuación indicada anteriormente.

Observaciones

* En las instrucciones se ha propuesto que se ha de acercar el teléfono sonoro lo más rápidamente posible al aparato receptor ya que cuanto mayor es la celeridad más cambia la frecuencia y más se nota la diferencia.

* El análisis TTF que realiza la máquina es un análisis de Fourier lo que significa que la aplicación descompone la señal sonora en un conjunto de señales sinusoidales (armónicos). La frecuencia más pequeña corresponde al armónico fundamental y es la que caracteriza la señal emitida, las otras caracterizan el timbre del sonido.

Por eso a veces el analizador TTF encuentra valores que duplican o cuadruplican la frecuencia fundamental que no son sino los armónicos

múltiplos y en este caso se han de obviar. En todo caso, se puede volver a seleccionar otro pedazo de la grabación en la misma zona y volver a obtener la frecuencia.

* Ojo! Para seleccionar y hacer el análisis TTF sólo se ha de ampliar el trozo que se quiere analizar hasta que ocupe toda la pantalla, no se debe usar la franja amarilla que aparece entre dos marcas cuando se toca la pantalla dos veces con un dedo.

* No es necesario volver a repetir el experimento, más allá de volver a comprobar que la frecuencia aumenta al acercarse los aparatos. El experimento es irrepetible porque aunque sea la misma persona la que mueva el teléfono es muy difícil que lo vuelva a hacer de la misma manera.

* Otra cuestión es volver realizar el experimento pero de una manera diferente. Por ejemplo: en lugar de acercar la fuente de sonido se puede alejar o en lugar de mover el emisor se puede mover el receptor y comprobar de esta manera el efecto Doppler en diferentes situaciones.

5 Caída libre de una valla

Esta actividad podría llevar el subtítulo de *Estudio de movimientos con fotocélula* ya que se propone la realización de experimentos de cinemática añadiendo al teléfono o la tableta un sensor externo, una fotocélula que haremos nosotros mismos y que conectaremos a la entrada de los auriculares de la tableta o del teléfono móvil (mejor si la pantalla es grande).

Aplicaciones y material a utilizar

Se necesita una fotocélula cuya construcción se explica en el apartado de sensores externos a los dispositivos móviles. El diseño del sensor es de R. Wisman y K. Forinash (2013 a), autores de la app Audiotime+.

Ciencia Móvil - AudioTime+



<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.iu.s.audiotimeplus>

También hace falta un puntero láser, unas pinzas (por ejemplo de tender la ropa) y una valla.

La valla se puede construir con una hoja o una regla de plástico transparente en la que se pegan franjas de cartulina o cinta aislante negras. Se deben pegar de manera que la anchura de las franjas negras sea del mismo valor que el de las franjas transparentes que quedan entre ellas para facilitar los cálculos posteriores al experimento.

Realización

Podemos medir la aceleración de un objeto que cae si se conoce la velocidad del objeto en dos lugares durante la caída; también si conocemos su posición en diferentes tiempos.

Si dejamos caer vertical y libremente una valla, por ejemplo una lámina o una regla de plástico transparente en las que se han intercalado franjas opacas, ante una fotocélula iluminada con un puntero láser y se registran los momentos de luz y

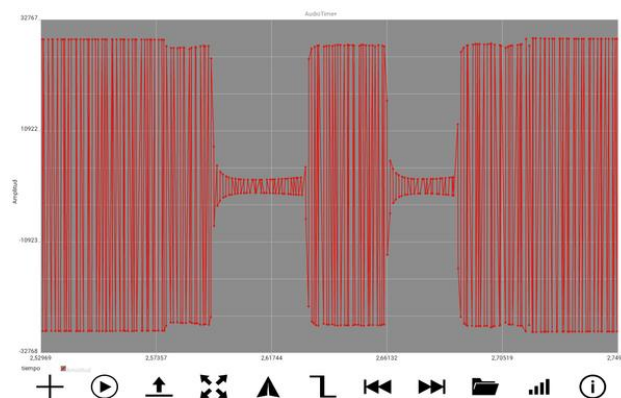
oscuridad en el tiempo, es posible conseguir medidas de posición y tiempo que nos pueden permitir calcular celeridades medias en determinados momentos y construir tablas de la posición ante el tiempo, lo que permitirá calcular la aceleración de caída.



Para llevar a cabo la experiencia se ha de conectar la fotocélula a la tableta y sujetarla con una pinza, de manera que quede encarada con un puntero láser pero con un espacio libre entre los dos por el que pueda caer libremente la valla, de forma similar a como se ve en la foto de arriba.

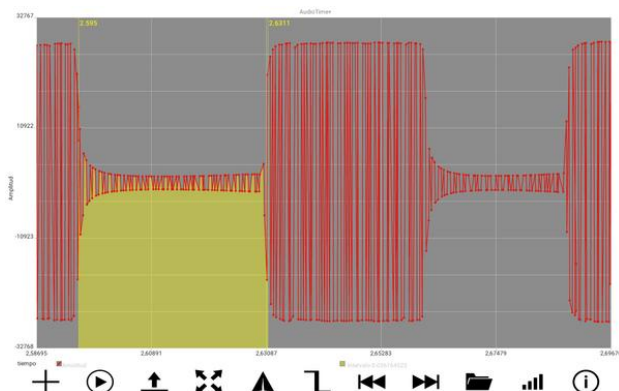
Se inicia la app AudioTime+ y se enciende también el puntero láser apretando el interruptor con una pinza de tender la ropa, para mantenerlo encendido.

Se debe pulsar el botón + para comenzar a grabar. A continuación se suelta la lámina de plástico de modo que pase sin problemas ante la fotorresistencia y luego se detiene la grabación pulsando el botón =.



Ya que el tiempo de caída es muy pequeño se deberá ampliar el gráfico con dos dedos hasta que

se vean bien las señales en la pantalla como en la gráfica de abajo, donde se aprecian las dos bandas de la valla.



Se ha de marcar pulsando la pantalla donde la señal ya ha disminuido y volver a hacerlo cuando comienza a aumentar.

Las señales suministran el valor del tiempo y debajo de la gráfica aparece el valor del intervalo. Se anotan los valores para hacer los cálculos y/o construir una gráfica. Con dos franjas solo se obtienen cuatro valores. Si se desean más valores se ha de construir una valla con más franjas oscuras.

Las franjas de la valla de la foto inicial tienen todas (claras y oscuras) 6,5 cm, y al medir los tiempos de paso se han obtenido 0,0362 s para la primera y 0,0272 para en la segunda, por lo que la celeridad media del paso de la primera es:

$$V_1 = \Delta r / \Delta t = 0,065 / 0,0362 = 1,80 \text{ m/s},$$

y de la segunda es:

$$V_2 = \Delta r / \Delta t = 0,065 / 0,0272 = 2,39 \text{ m/s}.$$

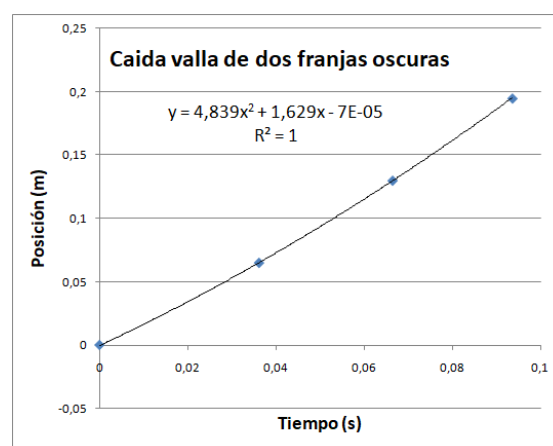
Si se calcula la aceleración de caída a partir de la ecuación del movimiento uniformemente acelerado $V_2^2 - V_1^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta r$, se obtiene:

$$g = (V_2^2 - V_1^2) / (2 \cdot \Delta h) = (2,392^2 - 1,802^2) / (2 \cdot 0,13) = 9,58 \text{ m/s}^2$$

Si queremos obtener el valor de g más cuidadosamente por medios gráficos debemos acudir a una hoja de cálculo o a un software de análisis gráfico de datos e introducir los datos de tiempo y de posición. Después se obtiene la gráfica de dispersión XY y se dibuja la línea de tendencia con un ajuste polinómico de orden 2 (parábola).

Tiempo (s)	Posición (m)
0	0
0,0362	0,065
0,0665	0,13
0,0937	0,195

Como se ve en la gráfica de abajo, la correlación es total para una gráfica cuadrática, dando un valor para la aceleración de la gravedad $g = 2 \cdot 4,84 = 9,68 \text{ m/s}^2$.



Observaciones

- * La valla presenta poco rozamiento al atravesar el aire por lo que su aceleración de caída debe ser cercana a la de la gravedad, como así se ha encontrado. Para obtener datos más precisos se puede pensar en conseguir más datos con una misma caída añadiendo más franjas oscuras a la valla, por ejemplo.

- * Un experimento complementario consiste en dejar caer la valla con diferente cantidad de pinzas para tender la ropa enganchadas en la parte de abajo, de modo que su peso sea diferente en cada caída, de cara a comprobar que la aceleración de caída no depende de la masa de los cuerpos.

- * Este es un experimento ya clásico desde que comenzó la experimentación asistida por ordenador con aquellos equipamientos EXAO diseñados por Adolf Cortel (Aparicio y Lozano, 2003). La gracia de esta propuesta (Wisman y Forinash, 2013b) es la de no necesitar ningún hardware específico de alto coste ya que no se necesita más que una tableta y un sensor muy barato y fácil de construir.

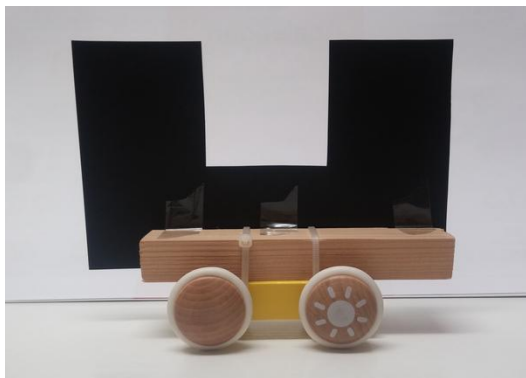
6 Aceleración en un plano inclinado

Del mismo modo que en el caso de la caída libre, se puede estudiar el movimiento de un objeto que baja por un plano inclinado o se mueve en horizontal, como por ejemplo un coche. Se puede medir la aceleración del coche si se conoce su velocidad en dos lugares de la pendiente o si podemos obtener los valores de la posición frente al tiempo.

Este es un experimento clásico de mecánica muchas veces propuesto por las empresas de material didáctico para llevarlo a cabo con un banco de aire y un par de fotopuertas, eso sí a un precio bastante elevado.

Aplicaciones y material a utilizar

Necesitaremos un coche que detenga el paso del rayo láser en posiciones que podamos medir, como por ejemplo el de la foto de abajo. Es cuestión de procurarse un cochecito de juguete que ruede bien y engancharle una banderola de cartulina o de una tapa de plástico opaca recortándola en forma de U.



También se necesita la tableta, el puntero láser y la fotocélula, y un tablón que se pueda inclinar y que sea lo suficientemente ancho para que pueda rodar el coche sin caer por el lado.

Ciencia Móvil - AudioTime+



<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.iu.s.audiotimeplus>

Smart ToolsTransportador



<https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.protractor>

Para recoger los datos de la fotocélula usaremos Audiotime+ y para medir el ángulo de inclinación del plano por el que deslizará el cochecito se puede utilizar un transportador de ángulos clásico o también una aplicación como **Smart Transportador** de la suite Smart Tools, aunque hay otras muchas gratuitas en las tiendas de Google y de Appel

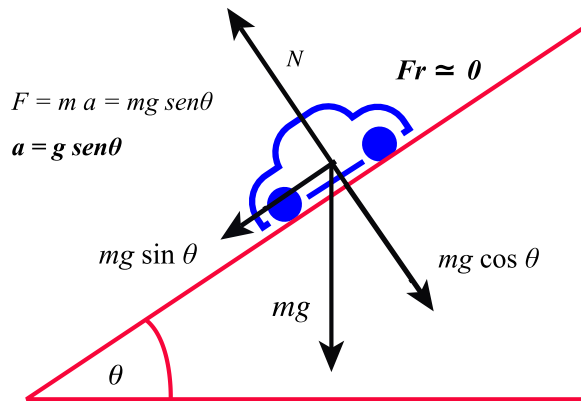
Realización

Se deberá colocar la fotocélula a la altura del paso de los brazos de la U e iluminarla directamente con un puntero láser como en el caso del experimento anterior de la caída de la valla.

Se deja caer el cochecito por el plano inclinado mientras se hace funcionar la aplicación Audiotime + y, una vez obtenidos los valores de las dimensiones de los brazos de la U y de los tiempos de paso, se procede a realizar los cálculos pertinentes igual que en el caso anterior de la caída de la valla puesto que el movimiento es igualmente uniformemente acelerado, aunque con una aceleración menor.

Observaciones

* Si un cuerpo bajara sin fricción por un plano inclinado su aceleración estaría dada por $a = g \sin \theta$, donde g es la aceleración de la gravedad y θ es el ángulo de la pendiente. Un coche de juguete real siempre presentará fricción y sus ruedas siempre acumularán cierta energía cinética de rotación, pero si la fricción y las ruedas son pequeñas, el coche rodará por la pendiente con una aceleración cercana a la teórica de un objeto sin fricción.



* Si en lugar de construir la fotocélula con una única fotorresistencia, se hace con dos fotorresistencias soldadas en serie se puede estudiar el movimiento de los cochecitos sin necesidad de ponerles ningún tipo de banderola, sólo haciendo pasar el cuerpo del coche (opaco) por delante de las dos fotorresistencias que deberán colocarse una de la otra a la distancia que interese. De hecho, así es como proponen hacerlo Forinash y Wisman (2013c).

7 El movimiento circular

En esta actividad se utiliza el sensor giroscópico de los teléfonos móviles para realizar algunos experimentos sobre el movimiento circular.

La mayoría de los teléfonos móviles incorporan el sensor giroscópico para dar servicio a las aplicaciones de fotografía de 360° o de juegos de movimiento y realidad virtual, por ejemplo, pero muchos móviles de gama baja y la mayoría de las tabletas no lo tienen, así que primero se debería comprobar si se dispone de él con cualquiera de las dos aplicaciones que se van a usar en esta actividad.

Aplicaciones y material a utilizar

Mediremos la velocidad angular con la que gira el móvil con la ayuda de la aplicación Giroscopio de la suite **Physics Toolbox Sensor Suite**. Esta app muestra el valor de la velocidad angular, ω , de cada eje, X, Y y Z, en función del tiempo.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Si lo que queremos es obtener el valor global de la velocidad angular y no su descomposición en cada eje, necesitamos usar otra aplicación que nos la proporcione, como es el caso de **PhyPhox**.

PhyPhox



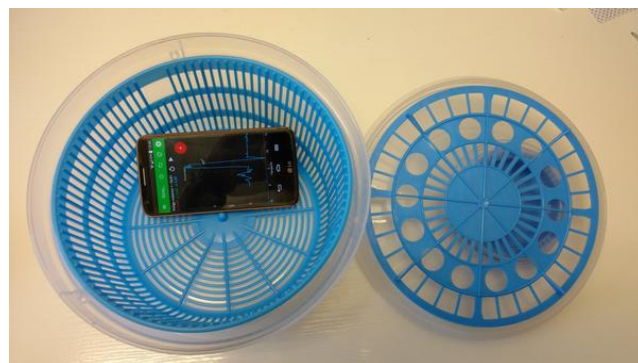
https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=es

También es conveniente disponer de algún artificio que gire como puede ser, de menor a

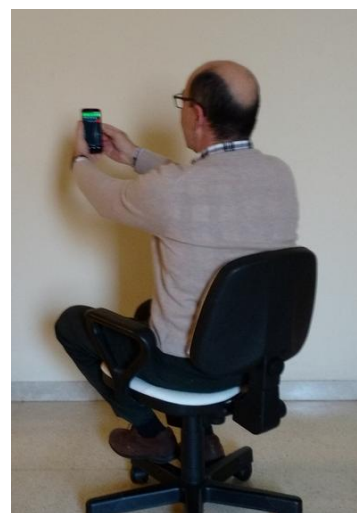
mayor tamaño, una secadora de lechuga, un tocadiscos, una rueda de bicicleta una silla de ruedas o un tiovivo.

Realización

Se debe poner el teléfono sobre la superficie que gira o sujetarlo al sistema que queremos estudiar su movimiento si hace falta. Bastará sujetarlo con la mano si somos nosotros mismos los que giremos, solos o montados en algo que gire. En todo caso, se debe tener cuidado y asegurar bien el móvil para que no salga despedido mientras gira y se rompa.



Se debe considerar la orientación en la que se coloca el teléfono ya que condicionará en cuál o cuáles de los ejes del móvil se obtiene el valor de la velocidad angular. Si se introduce el móvil en una secadora de lechugas como muestra la foto de arriba y se hace girar, la velocidad angular la dará del eje Z, pero si sujetamos con la mano el teléfono verticalmente y giramos sobre una silla de ruedas la velocidad angular la dará del eje Y



En el caso de hacer girar el teléfono en la silla de ruedas y medir los datos con Physics Toolbox se puede obtener una gráfica como la de abajo.



Si se usa la app PhyPhox se puede obtener la velocidad angular en cada eje pero también la global. Para ello se abre la aplicación y se selecciona Gyroscope, después se va al apartado ABSOLUTE y al pulsar iniciar comenzará la grabación de los valores de la velocidad angular en cada eje y la global, que es la que se visualizará.



Al desplegar el menú de los tres puntitos de arriba a la derecha de la pantalla se pueden guardar los datos obtenidos y enviarlos por cualquier tipo de mensajería en formato excel o csv.

Abajo se ven las gráficas de la velocidad angular ante el tiempo obtenidas en el caso del giro en una secadora de lechugas y en una silla de ruedas.



Giro en una secadora de lechugas

El móvil en la secadora de lechugas llega a alcanzar una velocidad angular media por encima de los 20 rad/s



Giro en una silla de ruedas

En el caso de la silla de ruedas la velocidad angular que alcanza el teléfono es del orden de 2,5 rad/s, siendo la parada muy lenta y con un movimiento muy cercano al uniformemente desacelerado (línea descendente prácticamente recta) con un valor para la aceleración angular de:

$$\alpha = \Delta\omega/t \cong 0,07 \text{ rad/s}^2.$$

Observaciones

* La aplicación PhyPhox tiene muchas posibilidades, por ejemplo el menú de PhyPhox permite en el apartado Timed run escoger el tiempo que debe pasar hasta que comience el

aparato a medir y el tiempo que debe estar tomando datos.

También es posible enviar la señal del teléfono a un ordenador o tableta en tiempo real mediante un navegador web que ve la pantalla del teléfono y puede controlarlo a distancia. Sólo hace falta indicarlo en el menú (Allow remote access) y copiar en el navegador la dirección URL que nos suministra la app. Es necesario, sin embargo, que los dos aparatos estén conectados a la misma red.

* Si se mide el radio de giro y la masa del teléfono móvil es posible calcular la aceleración normal y la fuerza que se hace para sujetar el aparato en el giro. Por ejemplo, en el caso de la secadora de lechugas tendríamos:

Aceleración normal,

$$a_n = r \cdot \omega^2 = 0,06 \times 20^2 = 24 \text{ m/s}^2$$

Fuerza centrípeta hecha por la secadora,

$$F_c = m \cdot a_n = 0,143 \times 24 = 3,4 \text{ N}$$

Ya que la velocidad angular era $\omega = 20 \text{ rad/s}$, el radio de giro, $r = 0,06 \text{ m}$ y la masa del móvil, $m = 0,143 \text{ kg}$

* Si cuando se envían los datos por correo electrónico o el medio que desee, para tratarlos

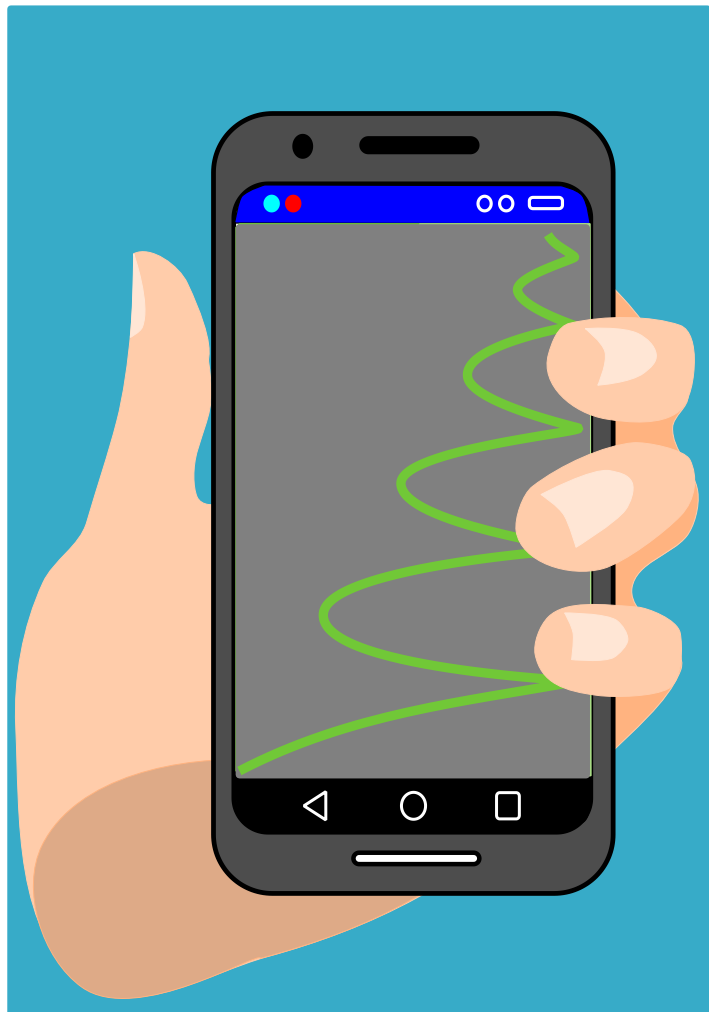
posteriormente o pasarlas a un compañero, se hace en formato .csv es recomendable que se seleccione separar los valores por puntos y comas (y no comas) y marcar los decimales con una coma (y no con un punto) ya que así no habrá problemas con los aplicativos de tratamiento de datos y hojas de cálculo que estén en la lengua catalana o castellana.

* En la velocidad de recogida de datos la aplicación Physics Toolbox es más versátil que la PhyPhox ya que la primera permite escoger en el menú la velocidad con la que se toman los valores, mientras que en la segunda no, por lo que el manejo de los datos de PhyPhox en una hoja de cálculo es más pesado por la gran cantidad de valores por segundo que suministra.

* Una alternativa para el estudio del movimiento circular es la utilización del sensor de luz del teléfono o de una fotocélula externa.

Una rueda que gira puede tener radios, se le puede practicar un agujero o se le puede pegar una cartulina en el perímetro exterior, de manera que al girar interrumpa el paso de la luz de un puntero láser que incide directamente sobre el sensor de luz. Controlando el tiempo entre sucesivas señales que indiquen la disminución de la intensidad de la luz que llega al dispositivo móvil se pueden calcular velocidades y aceleraciones angulares.

Fuerzas y energía



8 La caída del teléfono

Comienza el bloque de experimentos sobre dinámica y energía con la actividad más sencilla que se puede realizar ya que solo hay que dejar caer el teléfono. Por ello es uno de los experimentos con dispositivos móviles más repetidos (Forinash y Wisman, 2013d; Casellas, 2013).

Aplicaciones y material a utilizar

Cualquiera de las muchas aplicaciones que recogen datos del acelerómetro puede servir, por ejemplo **Physics Toolbox Sensor Suite**.

Physics Toolbox Sensor Suite	
	
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419	

En caso de que en el teléfono no pueda instalar la suite, se puede bajar por separado la aplicación Acelerómetro de los mismos autores.



Realización

Se proponen dos experiencias. Una dejar caer el teléfono libremente y otra lanzarlo hacia arriba verticalmente. En ambos casos es conveniente que

el móvil esté inicialmente orientado en una de sus tres ejes principales y disponer de algo mullido en el que el dispositivo pueda aterrizar, como un abrigo, una almohada, etc.

Se empieza por abrir la suite Physics Toolbox y escoger el apartado Acelerómetro lineal, ya que aquí ya está descontada la aceleración de la gravedad. Si queremos ver el valor de g debemos usar la aplicación Fuerza G.

Se mantiene el dispositivo horizontal con la pantalla hacia arriba a unos 70 centímetros por encima de la almohada y se inicia la grabación de valores. A continuación se deja caer el móvil. Cuando aterrice, se para la toma de datos y se guardan.

Se puede repetir el experimento pero soltando el teléfono en otra orientación, por ejemplo en vertical.

Como se indica al principio, para un segundo experimento se puede actuar como antes pero ahora lanzando el teléfono hacia arriba no demasiado fuerte, por ejemplo que llegue a subir otros 50 centímetros.



Caída libre

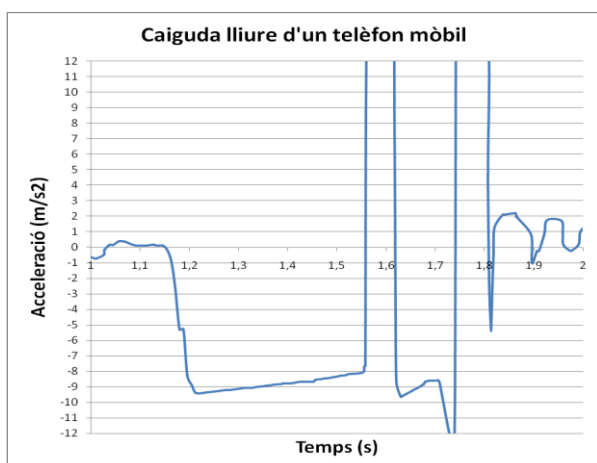
¿Qué pasa con la aceleración durante la caída libre?. La gráfica anterior y la siguiente muestran las gráficas de la caída libre y el lanzamiento vertical

hacia arriba, respectivamente. Se puede observar a simple vista que en el primer caso cae con aceleración $-g$ durante breves instantes, mientras que en el segundo caso, primero sube con una aceleración de más de un g para moverse rápidamente con la aceleración de la gravedad, y posteriormente rebotar.



Lanzamiento vertical

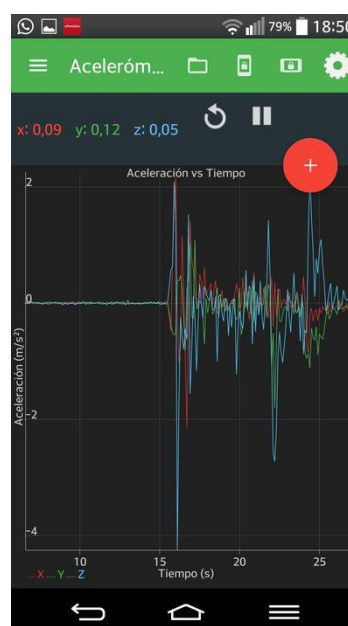
Si los datos los pasamos a una hoja de cálculo podemos obtener una gráfica como la de abajo y hacer medidas más precisas. En este caso vemos que el teléfono está cayendo unos 0,4 s (concretamente, 0,397 s), y si se hacen los cálculos pertinentes se puede contrastar si lo hemos dejado caer desde una altura de 0,77 m.



A partir de 1,56 s se observan subidas y bajadas de la aceleración, correspondientes al choque y sucesivos rebotes con el almohadón.

Observaciones

* La aplicación Physics Toolbox muestra las aceleraciones en los ejes X, Y y Z en unidades de m/s^2 . Se puede mover el teléfono en las tres direcciones del espacio para ver cómo cambian los valores y detener la toma de medidas para analizar mejor lo que se ha hecho. También se puede ampliar la imagen con dos dedos, aunque no mejora mucho la vista de las gráficas.



* Si se entra en ajustes se puede optar por visualizar las gráficas de cada uno de los ejes por separado, lo que clarifica mucho la vista si el dispositivo se mueve solo a lo largo de uno de sus ejes.

* Los valores a obtener se pueden grabar con el botón rojo con un +. Al detener la grabación se ha de dar un nombre al archivo, que se guarda con formato .csv. Si se quiere visualizar este archivo en una hoja de cálculo o en un programa de análisis de datos, se debe entrar en los ajustes de la aplicación e introducir el punto y coma como carácter delimitador de los datos en el archivo csv. Si se usa la coma para delimitar los valores, después se confunde con el separador decimal y se hace complicado importar el archivo para su análisis.

9 El rozamiento por deslizamiento

A pesar de que a menudo simplificamos las situaciones problemáticas en física prescindiendo del rozamiento este siempre está presente. Por ejemplo en el caso del deslizamiento entre superficies que se mueven una sobre otra.

En el doble experimento que se muestra en este punto encontraremos el valor del coeficiente de rozamiento estático y dinámico entre un objeto y el plano inclinado por el que desliza.

Aplicaciones y material a utilizar

Para medir las aceleraciones de los objetos que deslizen por los planos inclinados utilizaremos la suite **Physics Toolbox** y para medir las inclinaciones de los planos usaremos la aplicación **Transportador** de la suite Smart Tools.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.c hrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Smart ToolsTransportador



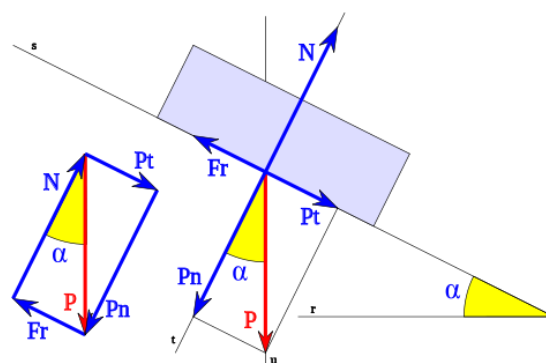
<https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.protractor>

También necesitaremos una tabla de madera, metálica o del material con la superficie que nos interese y objetos con diferentes tipos de superficies según el estudio que queramos realizar, por ejemplo tacos de madera, plástico o metal.

Unas pesas y un sistema de anclaje a los objetos que deslizen permitirán comprobar cómo no influye la fuerza entre las superficies en el coeficiente de rozamiento.

Medida de inclinaciones. El coeficiente de rozamiento estático.

Una de las formas tradicionales de medir el coeficiente de rozamiento estático entre las superficies de dos objetos que intentan deslizar uno sobre otro consiste en colocar uno encima del otro e inclinarlos hasta que se inicie el deslizamiento gracias a la fuerza de la gravedad.



Fuerzas en el plano inclinado, de HiTe~commons wiki (CC BY-SA 4.0) via wikimedia commons

Justo en el momento en el que se inicia el movimiento es cuando la componente del peso en la dirección de la inclinación del objeto que está encima (Pt) ha sobrepasado a la fuerza de rozamiento estática entre las dos superficies (Fr). Esto es:

$$Fr = Pt$$

Como resulta que la fuerza de rozamiento es igual al coeficiente de rozamiento multiplicado por la fuerza normal a las dos superficies, $Fr = \mu_s \cdot N$, siendo N en este caso igual a la componente del peso perpendicular a las superficies que pretenden deslizar, nos encontramos que

$$Fr = \mu_s \cdot N = \mu_s \cdot P_n = Pt$$

Y sustituyendo las componentes del peso por su valor:

$$\mu_s \cdot P \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha$$

y despejando el coeficiente

$$\mu_s = \sin \alpha / \cos \alpha = \tan \alpha$$

Por lo que midiendo el ángulo en el que comienza a deslizarse el objeto y calculando su tangente se obtiene el valor del coeficiente de rozamiento estático.

Realización

Se sujeta el teléfono a una tabla y sobre ella en horizontal se coloca un objeto, por ejemplo un taco de madera.



Se pone en marcha el transportador de la aplicación Smart Tools y se comienza a levantar la tabla por un extremo. En el momento en el que el cuerpo comienza a deslizarse se anota el valor del ángulo que está inclinada la tabla.

En el caso del taco de madera de la fotografía para una de sus caras (barnizada) el valor del ángulo obtenido es de 21° , con el que se obtiene un coeficiente de rozamiento estático de

$$\mu_s = \tan 21 = 0,38$$

Una alternativa para conseguir más precisión en el valor del ángulo consiste en utilizar la aplicación Physics Toolbox midiendo a la vez con el reporte múltiple el ángulo de inclinación (tono, pitch, en orientación) y la aceleración.

En este último caso el teléfono se ha de colocar sobre el objeto que va a deslizarse y se inclina el plano como en el caso anterior.

En el archivo que se genera se ve claramente como hay un momento en el que la aceleración del teléfono, que hasta este momento es prácticamente cero, crece bruscamente. En ese momento el valor de la inclinación dará el coeficiente de rozamiento estático que estamos buscando.



Observaciones

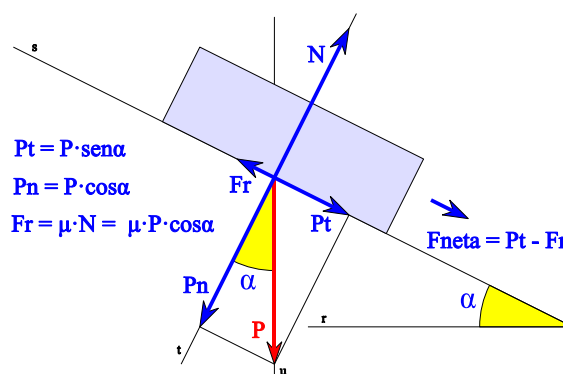
* Si colocamos el teléfono con su eje Y en la dirección del movimiento, será esta aceleración (a_y) la que debemos tener en cuenta. Los valores de la aceleración aparecerán como positivos o negativos según el sentido en el que se haya puesto el móvil.

* Hay que hacer notar que el coeficiente de rozamiento no depende de la fuerza entre las superficies que deslizan, no así la fuerza de rozamiento que es proporcional a ella. Para comprobarlo se puede repetir el experimento y comprobar que los objetos comienzan a deslizarse con el mismo ángulo de pendiente, independientemente del peso que se haya colocado encima suyo.

* Si se quiere ver la influencia del tipo de superficie en el valor del coeficiente de rozamiento no hay más que forrar la tabla y/o el cuerpo que desliza con el material que interese.

El coeficiente de rozamiento dinámico en el deslizamiento por un plano inclinado

Si se sitúa un plano inclinado con un ángulo fijo suficientemente grande para que al colocar un objeto sobre él deslice, lo hará con una aceleración debida tanto al ángulo de inclinación como a la gravedad y a la fuerza de rozamiento dinámica por deslizamiento.



Dibujo derivado de HiTe~commonswiki (CC BY-SA 4.0) via wikimedia commons

En el caso de que la componente del peso en la dirección paralela al plano sea mayor que la fuerza de rozamiento se tiene según la segunda ley de Newton:

$$m \cdot a = F_{\text{net}} = P_t - F_r = P \cdot \sin \alpha - \mu_d \cdot P \cdot \cos \alpha$$

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha - \mu_d \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Despejando el coeficiente de rozamiento:

$$\mu_d = \frac{g \cdot \operatorname{sen} \alpha - a}{g \cdot \operatorname{cos} \alpha}$$

Por lo que conociendo el ángulo de inclinación del plano y la aceleración con la que desliza el cuerpo se puede calcular el coeficiente de rozamiento dinámico.

Realización

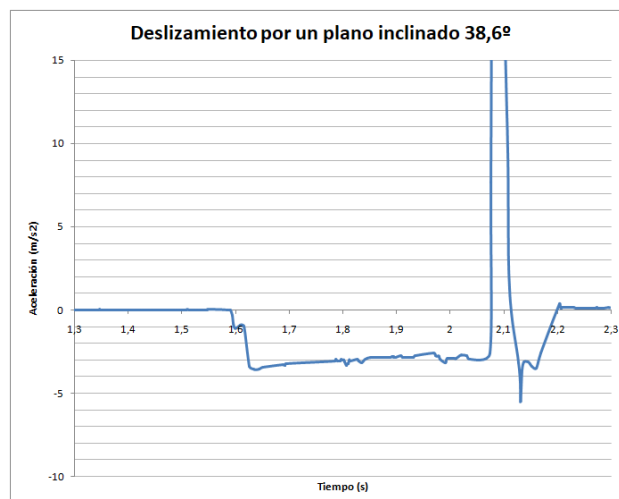
Se sitúa el plano con una inclinación fija tal que el cuerpo para el que deseamos medir el coeficiente de rozamiento de su superficie contra el plano deslice por él nada más soltarlo.

Se sujeta el teléfono sobre el cuerpo a estudiar y se colocan los dos sobre el plano aguantándolos con una mano.

Se pone en marcha el acelerómetro de la aplicación Physics Toolbox y se comienza a grabar clicando sobre el botón +. A continuación se deja ir al objeto y cuando llega a la base del plano se para la grabación. Se da nombre al archivo de datos generado y se envía a otros dispositivos si se desea.

Se puede hacer una lectura de los datos directamente mediante una hoja de cálculo, pero si se dibujan se obtiene una gráfica como la siguiente, en la que se aprecia que la aceleración de deslizamiento se mueve alrededor de los 3 m/s². Este valor indica que el coeficiente de rozamiento dinámico está en este caso alrededor de

$$\mu_d = \frac{g \cdot \operatorname{sen} \alpha - a}{g \cdot \operatorname{cos} \alpha} = \frac{9,8 \cdot \operatorname{sen} 38,6 - 3}{9,8 \cdot \operatorname{cos} 38,6} = 0,4$$



Observaciones

* Es conveniente inclinar el plano bastante (unos 40° en este caso) para conseguir que la aceleración con la que desliza el cuerpo sea relativamente grande (más de 2 m/s²) para minimizar el error relativo en su cálculo.

* Como en el anterior caso de la caída libre del teléfono, en la gráfica del deslizamiento por el plano inclinado se puede ver que el movimiento casi uniformemente acelerado durante unos 0,3 s se ve interrumpido bruscamente por una fuerte aceleración en sentido contrario. Esto se debe, como estudiaremos en el siguiente problema, *Las fuerzas en el choque*, a que en ambos casos el cuerpo ha chocado, interrumpiendo su movimiento bruscamente.

10 Las fuerzas en el choque

Esta actividad se centra en el momento del choque de objetos que se mueven, al que se ha hecho referencia en los experimentos anteriores.

Tradicionalmente era complicado realizar este tipo de estudios en un laboratorio escolar. Se necesitaba un sensor de fuerza y un sistema de adquisición de datos que no están al alcance de todos los centros docentes. Gracias a que todos los dispositivos móviles disponen del sensor acelerómetro es posible encontrar la aceleración con la que frena un objeto al chocar y, por tanto, la fuerza con que lo hace.

Aplicaciones y material a utilizar

Se seguirá usando el acelerómetro de la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite**

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

También se necesitarán otros materiales en función del estudio concreto que se realice: plano inclinado, cochecitos, etc.

Realización

Sirve cualquiera de los experimentos en los que el objeto que se mueve acaba chocando: el teléfono que cae libremente o que cae deslizando por un plano, un carrito que choca y rebota, etc.

El experimento puede consistir, por ejemplo, en el estudio de los diseños más eficaces para conseguir que las fuerzas implicadas en el choque sean las mínimas posibles y disminuir los daños que se pudieran producir.

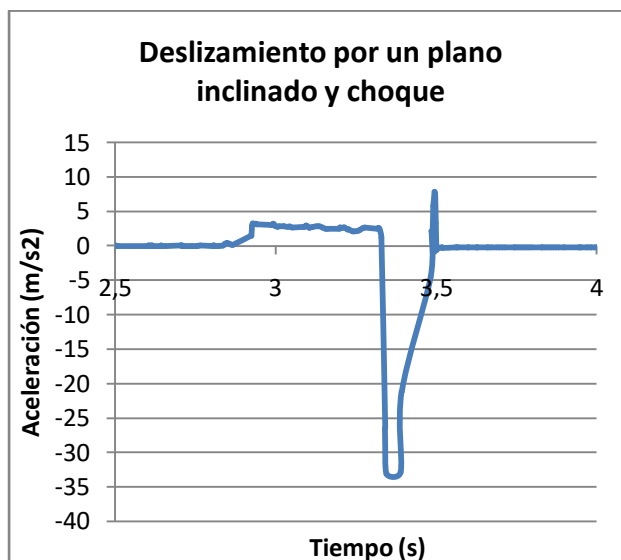
En este caso se deben de reproducir las mismas condiciones en el movimiento del objeto, un cochecito por ejemplo, salvo en el tipo de protección

al que se le somete: estructura rígida, deformable, diferentes materiales, etc.

Como ejemplo vamos a ver los datos de un choque de un teléfono móvil que desliza por un plano inclinado contra una esponja que se encuentra al final del recorrido, como muestra la fotografía de abajo.



Representando en una hoja de cálculo los valores obtenidos en el choque se consigue una gráfica como la siguiente, en la que se aprecia un fuerte aumento de la aceleración en un momento determinado, y en sentido contrario a la que se venía observando hasta entonces.



El valor máximo de la aceleración corresponde a un valor de $a = 32,8 \text{ m/s}^2$, mientras que el tiempo aproximado en que se mantiene esta aceleración es de $t = 0,052 \text{ s}$ (valores conseguidos en la hoja de cálculo).

Teniendo en cuenta que la masa del teléfono es de $m = 0,143 \text{ kg}$, se pueden hacer los cálculos para encontrar el valor de la fuerza máxima que padece el teléfono y el impulso con el que es frenado.

$$F = m \cdot a = 0,143 \cdot 32,8 = 4,7 \text{ N}$$

El impulso máximo padecido será

$$I = F \cdot t = 4,7 \cdot 0,052 = 0,24 \text{ N}\cdot\text{s}$$

Y el cambio máximo en la velocidad del móvil que se habrá producido en el choque será

$$\Delta V = I/m = 0,24/0,143 = 1,70 \text{ m/s}$$

Observaciones

* Si se quiere conocer la velocidad con la que llega el móvil a chocar se ha de recurrir a calcularla a

partir del tiempo que ha estado deslizando y la aceleración con la que lo ha hecho. No está de más recordar que el sensor Acelerómetro del teléfono no aporta en ningún caso la velocidad a la que va.

Volviendo a los datos en la hoja de cálculo, se obtiene $2,75 \text{ m/s}^2$ para la aceleración mientras desliza durante $0,40 \text{ s}$, lo que lleva a una velocidad del dispositivo justo antes de chocar de

$$V = a \cdot t = 2,75 \cdot 0,40 = 1,1 \text{ m/s}$$

Por lo que en el mejor de los casos saldrá rebotado con una velocidad de $0,64 \text{ m/s}$.

11 El movimiento del ascensor

Se trata de estudiar el movimiento de un ascensor que sube o que baja mediante la toma de datos por el acelerómetro del teléfono móvil. Especialmente en los momentos de arrancada y frenada.

Es una de las experiencias más fáciles de realizar siempre que se tenga a mano un ascensor.

Aplicaciones y material a utilizar

Se vuelve a usar el acelerómetro de la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite**

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

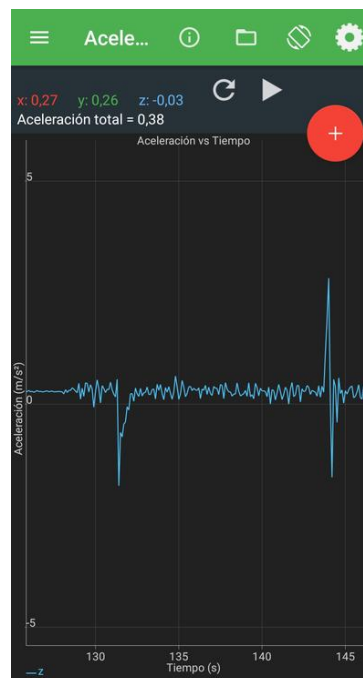
Además se necesita acceder a un ascensor para estudiar su movimiento. No se necesita que suba más de un piso. Opcionalmente se necesita una balanza de baño o una báscula.

Realización

Se inicia el Acelerómetro lineal de la aplicación Physics Toolbox y en ajustes se selecciona ver solamente los valores del eje Z. Después se coloca el teléfono en el suelo del ascensor con la pantalla hacia arriba.

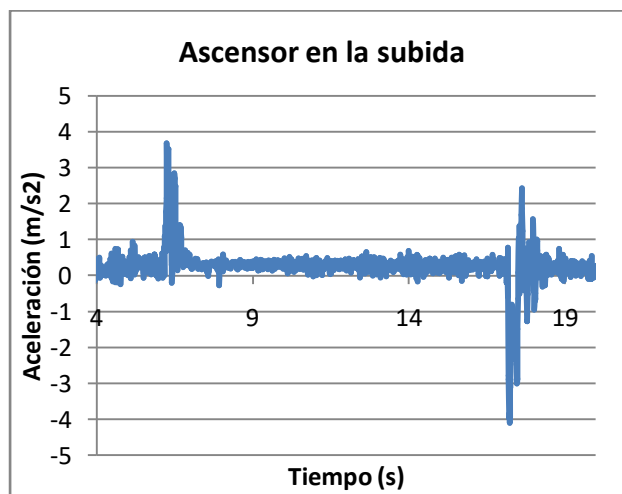
Se pone en marcha la recogida de datos pulsando en el signo más, y se aprieta el botón del ascensor. Cuando se para el ascensor detenemos también la recogida de medidas. En ese momento la aplicación nos pide un nombre de archivo para guardarlo y/o enviarlo.

Si en un primer momento se ha subido, ahora se puede repetir el experimento bajando con el ascensor. Obtendremos una gráfica como la de la pantalla de teléfono siguiente.



Si el archivo .csv que se ha guardado previamente se importa en una hoja de cálculo o aplicación de tratamiento de datos se accede a los valores concretos y se pueden conseguir las gráficas aceleración/tiempo correspondientes a las subidas y/o bajadas del ascensor.

Como el archivo de datos contiene las aceleraciones en los tres ejes y la global, se debe seleccionar sólo la aceleración en el eje Z del teléfono, que corresponde a la perpendicular a su pantalla y, por tanto, a la vertical.



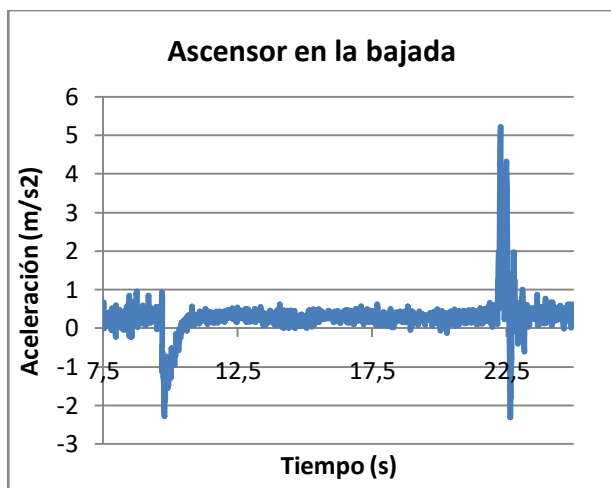
En la gráfica se identifican claramente las diferentes fases del movimiento de subida del ascensor: la aceleración de arrancada, la de frenada y la vibración continua del ascensor desde que se pone en marcha.

Si se acude directamente a los valores recogidos en el archivo .csv se obtiene un valor máximo de aceleración en la arracada de $3,42 \text{ m/s}^2$, y en la frenada de $-4,35 \text{ m/s}^2$, es decir que frena más bruscamente de lo que arranca.

Como el tiempo que está en marcha el ascensor para subir 9 m (tres pisos) es de 11 s, la velocidad media con la que sube es de $0,8 \text{ m/s}$

Como se aprecia en el gráfico siguiente la aceleración evoluciona en la bajada con una simetría especular respecto a la subida, aunque varían los valores de las aceleraciones máximas.

En cuanto a la velocidad en la bajada resulta un poco inferior a la de la subida a pesar de ser el mismo ascensor y el mismo trayecto, ya que en este caso la velocidad es $V = 9/12,5 = 0,7 \text{ m/s}$.



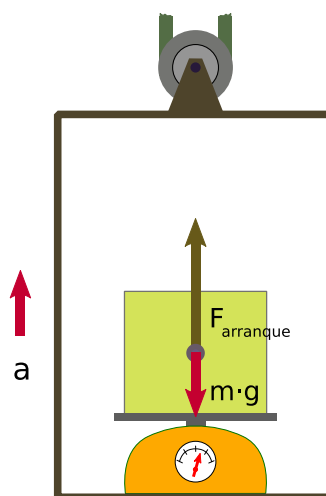
Observaciones

* Tradicionalmente esta práctica se había hecho poniendo una báscula de baño clásica en el suelo de un ascensor y subiendo encima. También puede ser una balanza de laboratorio o de cocina con un peso encima.

Mientras el ascensor no se mueve, la báscula marca nuestro peso traducido en masa. Por ejemplo, si nuestra masa es de 60 kg, pesaremos unos 600 N y la báscula indicará 60 kg. Esto es así ya que, tanto

si estamos parados, como cuando el ascensor se mueve con velocidad constante, la aceleración que padecemos es cero y la suma de fuerzas que actúan sobre nosotros también. La fuerza que nos hace la báscula debe ser igual a la fuerza de atracción gravitatoria, nuestro peso.

Si arranca el ascensor hacia arriba, en un primer momento se ve como nuestro peso aumenta ya que la báscula, no sólo tiene que aguantar el peso de la persona, sino que también debe acelerarla hacia arriba. La fuerza que tiene que hacer la báscula, y por tanto lo que marcará será igual a la suma del peso de la persona más su masa por la aceleración de subida.



Ascensor arrancando hacia arriba, derivado de Parri (CC BY-SA 3.0) via wikimedia commons

En el ejemplo de subida que hemos visto antes, en el que la aceleración de arranque era de $3,42 \text{ m/s}^2$, si la persona tiene una masa de 60 kg, la báscula marcaría instantáneamente una nueva masa mayor (m_{arranque}) :

$$F_{\text{arranque}} = P + ma$$

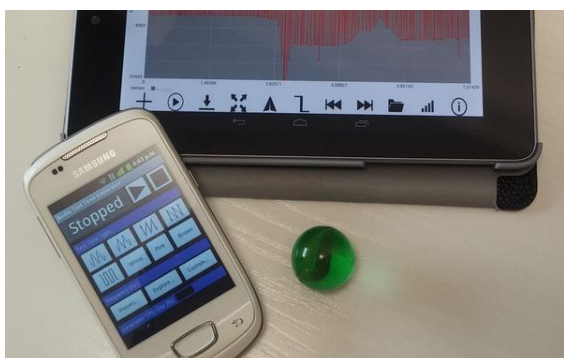
$$m_{\text{arranque}} = F_{\text{arranque}}/g = (60 \cdot g + 60 \cdot 3,42)/g = 81 \text{ kg}$$

Después de este primer momento volvemos a pesar lo de siempre mientras sube el ascensor a velocidad constante, para pasar a pesar un poco menos en el momento de frenado, cuando llegamos al destino. Del mismo modo se pueden hacer las medidas de peso en la bajada del ascensor.

Si estos experimentos con la balanza o la báscula se hacen a la vez que con el teléfono o tableta, después se pueden comparar los datos obtenidos por una y otra vía.

12 El coeficiente de restitución en los choques

En este experimento clásico (Aparicio y Lozano, 2002) se calcula del coeficiente de restitución de una bola al rebotar en el suelo. Se deja caer una bola y se graba el sonido que produce al chocar repetidamente con el suelo en los sucesivos rebotes, que van perdiendo altura como consecuencia básicamente de la pérdida de energía en cada choque.



El coeficiente de restitución da indirectamente una idea de la pérdida de energía que se produce en cada choque y se puede medir de diferentes maneras, por ejemplo: como el cociente entre los tiempos que tardan en producirse dos rebotes sucesivos. La tableta registra los choques y con la aplicación se pueden medir los tiempos que se necesitan para realizar los cálculos.

Aplicaciones y material a utilizar

Ciencia Móvil - AudioTime+	
	
https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.iu.s.audiotimeplus	

La aplicación que se utilizará en este experimento es **Ciencia Móvil - AudioTime +** que como ya hemos visto repetidamente es una app magnífica que permite registrar la entrada de sonido y medir tiempos.

Paralelamente a la creación de aplicaciones para tabletas y teléfonos móviles, los autores de la

aplicación (Wisman y Forinash, 2013e) han elaborado también una propuesta experimental en la que se basa este protocolo.

También se necesita una canica (o una pelota o un balón...) que haga ruido al chocar contra el suelo.

Alternativamente se puede usar la aplicación **PhyPhox** que tiene un experimento preparado expresamente para calcular la energía perdida en cada uno de los sucesivos rebotes de la pelota. El resultado es espectacular, pero yo no la utilizo para esto porque actúa como una caja negra que no ayuda a saber cómo se ha llegado a los valores.

PhyPhox



https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=es

El coeficiente de restitución en el choque

En cualquier choque, los cuerpos sufren una deformación y se liberan pequeñas cantidades de energía en forma de calor, pero si consideramos el caso ideal de la colisión perfectamente elástica entre dos objetos de masas, m_1 y m_2 , que se mueven en la misma dirección, la energía cinética y la cantidad de movimiento totales se conservan, es decir, la ecuación de la conservación de la energía cinética en el choque es:

$$\frac{1}{2} m_1 v_a^2 + \frac{1}{2} m_2 u_a^2 = \frac{1}{2} m_1 v_b^2 + \frac{1}{2} m_2 u_b^2$$

Donde v_a y v_b son las celeridades del objeto 1 antes y después del choque y u_a y u_b son las de la masa 2 también antes y después

La ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento en el choque es:

$$m_1 v_a + m_2 u_a = m_1 v_b + m_2 u_b$$

Si se combinan linealmente las dos ecuaciones se obtiene esta:

$$v_a + v_b = u_a + u_b$$

Que también se puede escribir

$$v_a - u_a = - (v_b - u_b)$$

La fórmula anterior implica que, en el caso ideal de un choque perfectamente elástico en una dirección, la velocidad relativa antes de chocar, $v_a - u_a$, es igual a la velocidad relativa después del choque cambiada de signo, $-(v_b - u_b)$. Pero si en el choque hay pérdidas energéticas (es decir, siempre), la velocidad relativa después del choque es más pequeña y la ecuación se puede escribir:

$$e (v_a - u_a) = - (v_b - u_b)$$

Donde e es un coeficiente, llamado de restitución, que mide indirectamente la proporción de energía perdida en el choque:

$$e = - \frac{V_b - U_b}{V_a - U_a} = \frac{V_b - U_b}{U_a - V_a}$$

Al analizar esta ecuación se pueden hacer las siguientes consideraciones:

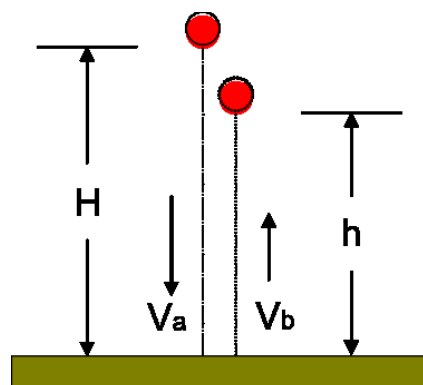
1. Si el choque es completamente elástico, las velocidades relativas antes y después son iguales y el coeficiente de restitución es igual a 1, $e = 1$.
2. Si el choque es totalmente inelástico, ambos cuerpos continúan juntos después del choque (misma celeridad), $(v_b - u_b) = 0$ y el coeficiente de restitución es igual a 0, $e = 0$.
3. En los demás casos, e es un número entre cero (0) y uno (1).

Además, si uno de los cuerpos que chocan es tan masivo que, estando inicialmente quieto respecto al sistema de referencia que consideramos, después del choque no se mueve, su celeridad es siempre cero y la ecuación del coeficiente de restitución queda en este caso:

$$e = - \frac{V_b - U_b}{V_a - U_a} = - \frac{V_b}{V_a}$$

Es decir, que e no depende más que de las celeridades antes y después del propio cuerpo, al que se le puede atribuir este valor de e como propiedad suya. Así, el coeficiente de restitución (e)

para un material se define como la relación de la velocidad de un objeto de ese material antes y después de una colisión con una superficie dura.



Esquema del rebote de una pelota para calcular el coeficiente de restitución

En el dibujo de arriba se representa una pelota que se deja caer desde una altura, H , rebota con el suelo y llega otra vez hasta una altura menor, h . Se utilice el convenio de signos que sea, siempre las velocidades de la pelota antes y después del choque tendrán signos contrarios, por lo tanto:

$$e = - \frac{-V_b}{V_a} = \frac{V_b}{V_a}$$

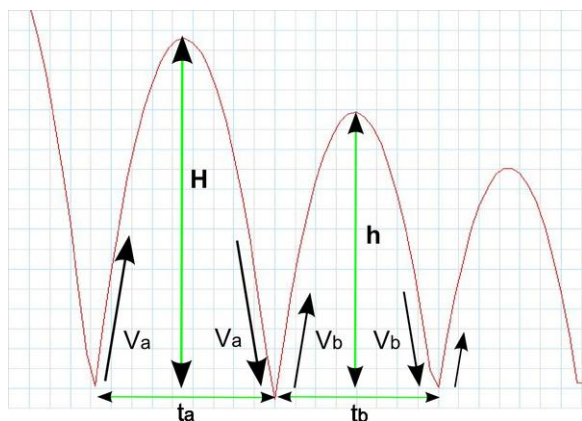
Como hemos argumentado antes, si la colisión es perfectamente elástica, es decir, si se conserva la energía en el choque, las dos velocidades tendrán el mismo módulo y será $e = 1$, y si el choque es perfectamente inelástico, es decir, si el objeto se pega a la superficie después de la colisión, el $e = 0$.

El coeficiente de restitución (e), pues, se puede determinar por el rebote sobre una superficie dura de un objeto del material que se quiere estudiar.

Las pelotas de golf suelen tener un $e = 0,78$, las pelotas de baloncesto tienen un $e = 0,81$ hasta $0,85$ y las pelotas de tenis tienen un $e = 0,89$ hasta $0,91$. Las bolitas de vidrio pueden tener un e de hasta $0,95$ (siempre que no se deformen y/o se rompan con el impacto).

El coeficiente de restitución de otros objetos como raquetas de tenis y palos de golf se puede determinar por el rebote de una esfera dura sobre ellos. Así, las raquetas de tenis tienen un e de aproximadamente $0,85$ y los palos de golf de $0,83$.

Medir directamente la velocidad de las pelotas antes y después de botar es muy complicado. Más fácil es calcular el coeficiente de restitución a partir del tiempo entre rebotes o a partir de la determinación de la altura H desde la que se deja caer el objeto y la altura h a la que llega al rebotar. Veamos en estos casos como es la ecuación que permite calcular el coeficiente de restitución.



Rebotes de una pelota sobre una superficie dura

En el diagrama de arriba que representa la posición en función del tiempo de un balón que saltando y rebotando sobre una superficie dura, V_a es la velocidad después del primer bote, V_b es la velocidad después del segundo bote, H es la altura del primer bote y h es la altura del segundo bote. Si despreciamos la resistencia del aire, V_a es también la velocidad de la pelota justo antes del segundo bote. El primer rebote tarda un tiempo t_a y el segundo rebote tarda un tiempo t_b .

Como el movimiento de caída del balón es el de caída libre, se puede calcular la celeridad en el momento del impacto con el suelo a partir de la ecuación $v = g \cdot t$, siendo t el tiempo de caída del balón desde el punto más alto de la trayectoria, es decir, la mitad del tiempo entre choque y choque.

Para calcular el coeficiente de restitución en función del tiempo es suficiente hacer el cociente entre dos tiempos sucesivos:

$$e = \frac{V_b}{V_a} = \frac{\frac{1}{2}gt_b}{\frac{1}{2}gt_a} = \frac{t_b}{t_a}$$

Si se quiere calcular la celeridad del balón justo antes del choque en función de la altura, se debe utilizar otra ecuación del movimiento uniformemente acelerado, o bien el principio de conservación de la

energía mecánica: la energía potencial arriba del todo será igual a la energía cinética abajo:

$$\frac{1}{2}mV^2 = mgh$$

Despejando la velocidad V_a , que es la velocidad final que adquiere el balón en caída libre desde la altura H se tiene:

$$V_a = \sqrt{2gH}$$

Y para V_b :

$$V_b = \sqrt{2gh}$$

El coeficiente de restitución en función de la altura será:

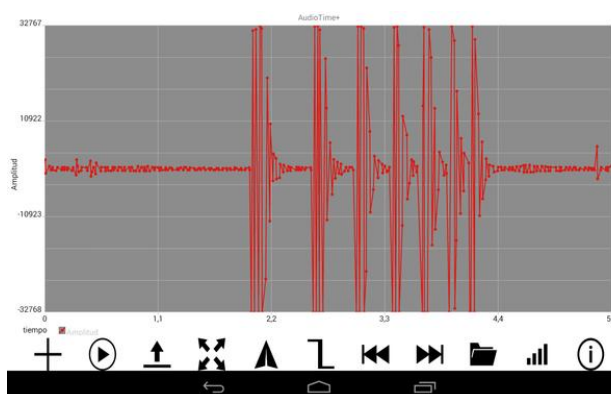
$$e = \frac{V_b}{V_a} = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{2gH}} = \sqrt{\frac{h}{H}}$$

Realización / procedimiento

Mediremos el coeficiente de restitución (e) del choque de una canica en el suelo de la clase en función del tiempo entre botes. Para ello, dejaremos caer la canica desde una altura cualquiera y grabaremos con la aplicación AudioTime+ los ruidos que hace al rebotar contra el suelo. Después se mide el tiempo entre dos choques sucesivos y se calcula el coeficiente.

Se inicia la app AudioTime+ y se pulsa el botón inicio (+) para comenzar a grabar. Se deja caer la canica y que rebote varias veces. A continuación se detiene la grabación pulsando el botón parar (||).

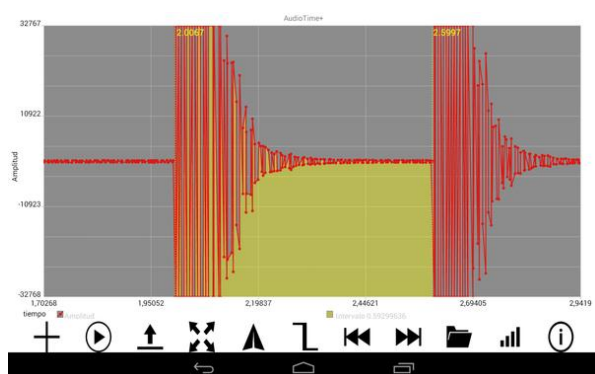
Si se quiere, se puede guardar la grabación pulsando el botón de la carpeta y dándole un nombre. Se guarda en la carpeta Audiotime+.



Los rebotes de una canica con el suelo

Aparecerá una gráfica como la de la figura siguiente donde se ven las perturbaciones sonoras producidas por los sucesivos choques en el suelo de la canica. Se deben marcar en la pantalla dos momentos sucesivos en los que se inicia el ruido del choque. Esto se puede hacer de dos maneras:

1. Se pulsa con el dedo en los dos puntos que se considere. Si se produce una equivocación, se puede mover la posición arrastrando la marca con el dedo. Si las señales de los choques están muy juntas, previamente se pueden separar/ampliar separando dos dedos en la pantalla.



Captura de pantalla de AudioTime+ que muestra el intervalo entre el primer y el segundo bote

2. Si se pulsa el botón punta de flecha (Δ) se ubicará una línea en el primer bote, el que tiene la señal más fuerte, en la parte más alta de la señal. Si se ven en pantalla varios rebotes, se deben ampliar las señales utilizando dos dedos hasta que sólo sean visibles dos choques en la pantalla. A continuación se vuelve a pulsar el botón (Δ) y aparecerá una segunda línea en la segunda cresta.

En cualquiera de los dos casos, aparece el valor del tiempo entre las dos señales en la parte inferior derecha de la pantalla. A este tiempo le diremos t_a .

Para volver a ver todo lo que hemos grabado se debe pulsar el botón con cuatro flechas. Si ahora se hace un doble toque en la pantalla eliminaremos las dos líneas amarillas de la primera medida. Se pueden repetir los pasos anteriores para encontrar el tiempo entre el segundo y el tercer rebote. Este nuevo tiempo es t_b . A continuación se puede seguir el proceso con t_c , t_d ...

Ahora ya se puede encontrar el coeficiente de restitución dividiendo el tiempo segundo por el primero: $e = t_b/t_a$.

Observaciones

- * Se puede llenar una tabla con los valores de tiempo recogidos y calcular el valor del coeficiente de restitución para cada par de datos. Después se pueden analizar los valores obtenidos y ver si están todos dentro del mismo rango o se produce un salto en los valores a partir de un determinado rebote. Si los valores de los coeficientes en cada bote están dentro del mismo rango, se puede calcular el valor más probable y su incertidumbre.

- * Dependiendo del material de la bola que se deja caer se puede encontrar que el valor del coeficiente de restitución sea prácticamente igual desde el primer bote, como en una pelota de baloncesto, pero hay otros materiales, como el de algunas bolas de vidrio, que en los primeros saltos se deforman mucho más que en los siguientes cuando el choque es menos violento, y eso no lo hacen gradualmente sino sufriendo un cambio brusco del valor del coeficiente a partir de un bote determinado.

- * Como la experimentación es muy rápida de hacer, es fácil repetirla varias veces, aunque luego tomar los datos de cada experimento sea más lento, de manera que se puede volver a hacer el experimento con una bola del mismo o de otro material para estudiar si los resultados son equiparables.

- * La realización de estos experimentos en las aulas de secundaria no es una novedad. La novedad está en las herramientas utilizadas y en que el alumnado dispone de ellas y puede hacer la experimentación autónomamente y en su casa. Por ejemplo se puede calcular el coeficiente de restitución con un ordenador, un micrófono y el programa **Audacity**.

Otra forma para obtener los datos pasa por grabar los botes del balón en vídeo con el teléfono (o con una cámara fotográfica, o una cámara web, o una videocámara) y medir los tiempos después con el magnífico programa **VLC Media Player**.

Si se tiene la suerte de disponer de un sensor de distancia se puede hacer el experimento siguiendo el protocolo del CDEC *Energía disipada en el bote de una balón* (Aparicio y Lozano, 2002), donde se calcula el coeficiente a partir de las sucesivas alturas alcanzadas por el balón.

13 Energía potencial y cinética en un péndulo

Si se utiliza un teléfono como masa de un péndulo se puede medir la aceleración tangencial y normal que padece y a partir de estos valores estudiar la relación entre su energía potencial y la cinética en el punto más alto y más bajo de su trayectoria.

Aplicaciones y material a utilizar

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.c hrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Como en otros experimentos anteriores se vuelve a usar el acelerómetro de la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite**. Para medir el ángulo de separación del péndulo se puede usar el **transportador** de la suite Smart Tools.

Smart ToolsTransportador



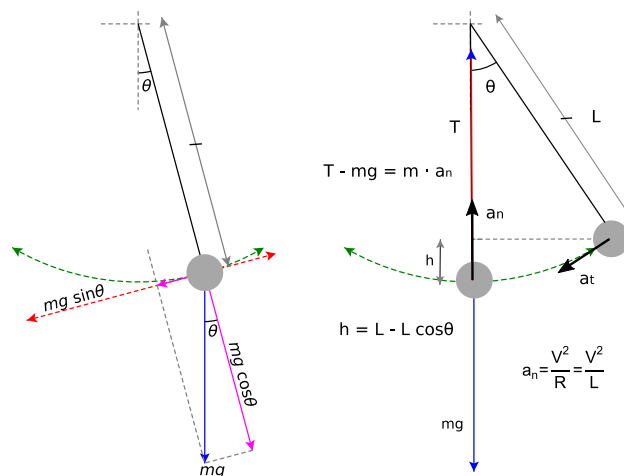
<https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.protractor>

Se necesita una regla para medir la altura desde la que se suelta el móvil para que comience a oscilar y también la longitud del péndulo.

Además se ha de sujetar el teléfono a un soporte mediante dos hilos ligeros y a la vez suficientemente fuertes para que no se rompan.

Fuerzas, aceleraciones y energías en el péndulo simple

Las siguientes figuras muestran las fuerzas que actúan sobre un teléfono colgado de un hilo cuando oscila.



Dibujo derivado de Krishnavedala (CC BY-SA 3.0) via wikimedia commons

La figura de la derecha ilustra la posición inicial desde la que se deja ir el teléfono y la posición en la parte más baja de la trayectoria. La diferencia de alturas entre las dos posiciones es h , que marcará la energía potencial gravitatoria del péndulo (teléfono) en la posición inicial respecto a la posición en la parte más baja del movimiento:

$$E_p = m g h = m g (L - L \cos \theta)$$

Donde L es la longitud del péndulo y θ el ángulo de separación inicial respecto a la vertical. En ese punto su energía cinética será cero (está parado).

Cuando el teléfono pasa por el punto más bajo su energía potencial relativa a si mismo es cero, pero su energía cinética será máxima ya que también lo será su velocidad:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Velocidad que está relacionada con la componente normal (centrípeta) de la aceleración en ese punto, que también será la mayor de toda la trayectoria:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2}{L}$$

Si se mide la aceleración en la dirección radial y la altura desde la que se deja ir el teléfono será posible calcular la energía del péndulo en ambas

posiciones y comprobar hasta qué punto se conserva en la oscilación.

Realización

Antes de nada se pesa el teléfono que utilizaremos como masa del péndulo.

Se ha de sujetar el teléfono en posición vertical de dos hilos que vayan separándose entre si hasta la barra o el marco donde se enganchen. La idea es que sujeto de dos hilos el teléfono en la oscilación no tenga posibilidad de rotar sobre si mismo. De esta forma no solo se puede medir la aceleración centrípeta (en el eje Y) sino también la tangencial (en el eje Z del teléfono).



Se separa el teléfono un ángulo que, conjuntamente con la longitud del péndulo, determinan la altura desde la que se dejará ir. Se puede medir el ángulo con un transportador de plástico o con otro teléfono móvil y la aplicación **transportador** de la suite Smart Tools.

La longitud del péndulo se mide como la distancia vertical desde el centro del dispositivo a la altura en la que está enganchada la cuerda. También se puede medir la altura desde la que se deja ir el teléfono restando las alturas respectivas del dispositivo al suelo en el punto inicial y cuando cuelga verticalmente.

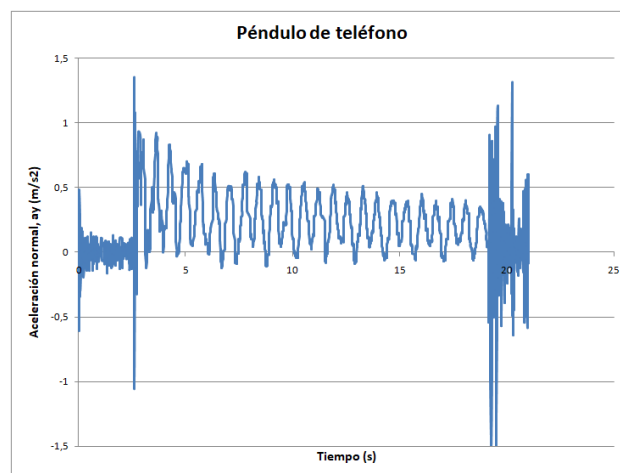
$$h = L - L \cos\theta$$

Con este valor y el de la masa del teléfono se calcula la energía potencial que tiene en ese momento.

Se abre la herramienta Acelerómetro de la aplicación Physics Toolbox y se inicia la grabación de valores. Ahora se deja ir el teléfono inteligente y después de varias oscilaciones se para su movimiento y la grabación de datos.

Se da nombre al archivo con los datos obtenidos y se abre en una aplicación que permita su análisis, como **Lab Trazar y Ajuste**. Usando los datos de la aceleración en el eje Y cuando está en el punto más bajo, cuando su valor es más alto, se determina la velocidad tangencial y después la energía cinética.

En el caso concreto de la foto de arriba y con un ángulo inicial 20° de separación de la vertical se obtiene una gráfica como la siguiente



Donde se aprecia que la aceleración normal adquiere inicialmente valores máximos próximos a 1 (exactamente $0,94 \text{ m/s}^2$) y valores mínimos que rondan el cero.

Con ese valor de la aceleración, teniendo en cuenta que el teléfono tiene una masa de 143 g y que la longitud del péndulo es de 47 cm, y el ángulo que le separa de la vertical inicialmente es de 20° , se obtienen los siguientes valores para las energías potencial y cinética en el punto más alto y más bajo de la trayectoria, respectivamente:

$$E_{p_{\max}} = m g (L - L \cos\theta) = 0,143 \cdot 9,8 \cdot 0,028 = 39 \text{ mJ}$$

$$E_{C_{\max}} = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m L a_n = \frac{1}{2} \bullet 0,143 \bullet 0,47 \bullet 0,94 = 32 \text{ mJ}$$

De donde resulta una disminución del 18% de la energía del péndulo ya en la primera oscilación. Esta pérdida de energía continúa en sucesivas oscilaciones como se aprecia a simple vista en la gráfica anterior, lo que es congruente con la superficie tan poco aerodinámica del teléfono que corta el aire en su movimiento.

Observaciones

* Se ha de usar la herramienta Acelerómetro lineal de Physics Toolbox y no la de Fuerza G ya que esta última indica la aceleración global sumando la de la gravedad (+ 9,8).

* El período de un péndulo simple viene dado por la ecuación (Giancoli, 2008a):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Donde L es la longitud del péndulo y g es la aceleración de gravedad. Si el período, T , se mide exactamente y la longitud del péndulo L es conocida, se puede calcular la aceleración de gravedad. En nuestro caso el periodo medido entre diez crestas de la gráfica dividido por 10 es de 1,38 s, lo que proporciona un valor de g de 9,7 m/s².

* Los datos recogidos por el móvil también suministran la aceleración en el eje z , es decir la aceleración tangencial. En la gráfica siguiente se

ven los valores superpuestos de la aceleración normal (en azul) y de la tangencial (en rojo). Se aprecia que los mínimos de la aceleración normal coinciden con los máximos valores de la aceleración tangencial.

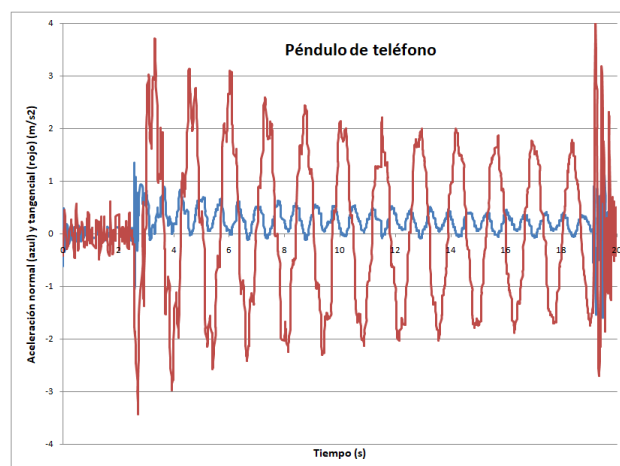
La aceleración tangencial viene dada por la componente tangencial del peso del péndulo (ver dibujo del péndulo al comienzo). En nuestro caso:

$$M g \sin\theta = m a_t$$

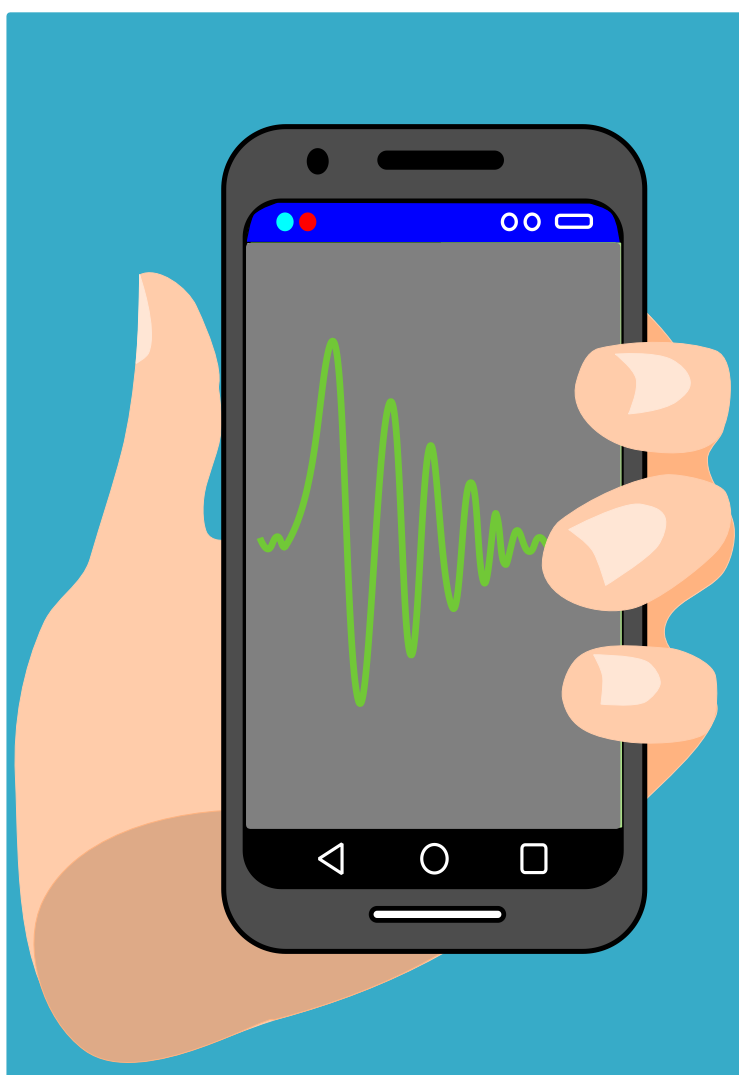
Por tanto

$$a_t = g \sin\theta = 9,8 \sin 20 = 3,35 \text{ m/s}^2$$

que concuerda bastante bien con el primer valor máximo obtenido por el acelerómetro del teléfono, que es de 3,43 m/s².



Oscilaciones y vibraciones



14 Oscilaciones del péndulo medidas con el sensor de proximidad

En el experimento 13 *Energía potencial y cinética de un péndulo*, aunque no era su finalidad principal, hemos podido calcular el período del péndulo formado por un teléfono que cuelga de dos hilos gracias al acelerómetro.

En este caso se pretende medir al período de un péndulo simple haciendo uso del sensor de proximidad.

Aplicaciones y material a utilizar

La aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite** tiene en el apartado proximidad una función **modo de péndulo** que, como su nombre indica, permite medir el periodo de un péndulo que en sus oscilaciones pase justo por encima del sensor de proximidad del teléfono.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Se necesita un péndulo, por ejemplo una bolita sujeta por un hilo, y un soporte donde colgarlo para que oscile. También se ha de disponer de una regla y una balanza para medir la longitud y la masa del péndulo.

Realización

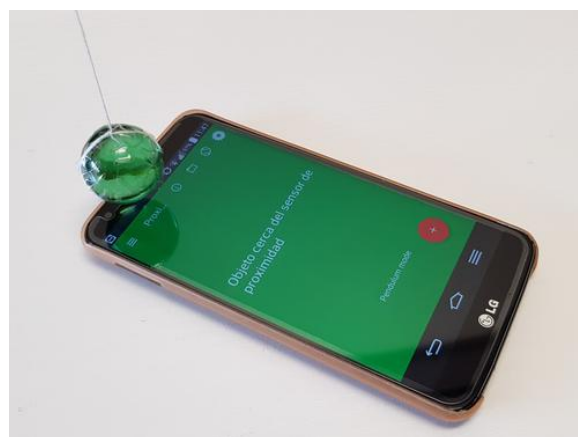
Tradicionalmente se ha obtenido el periodo de los péndulos en los laboratorios escolares midiendo el tiempo de una oscilación con un cronómetro. Mejor dicho, midiendo el tiempo de 10 oscilaciones, por ejemplo, y dividiendo por diez para disminuir el error relativo de la medida.

Se podría seguir haciéndolo así y utilizar como cronómetro el teléfono, pero los diseñadores de la empresa Vieyra han aprovechado el sensor de

proximidad del que disponen todos los móviles para incluir en su aplicación este experimento.

Para realizar el experimento se construye un péndulo simple enganchando una bolita metálica o de vidrio a un hilo flexible y delgadito de forma que prácticamente toda la masa se concentre en la bola.

Se sujeta el péndulo a un soporte de forma que estando vertical y en reposo se sitúe como a medio centímetro de altura sobre el sensor de proximidad de un teléfono móvil.



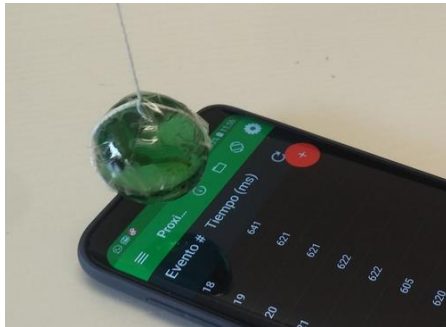
Se pone en marcha el sensor de proximidad en la aplicación Physics Toolbox y se comprueba que hay un objeto (la bolita) cerca del sensor.

Se pone en marcha el modo péndulo y se vuelve a pulsar sobre el botón más para iniciar la grabación de los datos.

Se separa el péndulo un ángulo pequeño de su posición de equilibrio (unos 10°) y se suelta. Automáticamente el teléfono irá anotando los tiempos entre cada una de las pasadas del péndulo por encima del sensor de proximidad y cuando se considere pertinente se detiene la grabación de valores y se da un nombre al archivo de datos para guardarlo o enviarlo.

Si se han medido pocas oscilaciones quizás sea más cómodo copiar los valores directamente desde la pantalla a una hoja de cálculo o a un papel para a continuación hacer el cálculo del promedio del valor

del periodo y el error de la medida. Se ha de tener en cuenta que los tiempos que indica la aplicación son en milisegundos y solo de la mitad de la oscilación, por lo que hay que multiplicarlos por dos para obtener el valor del periodo.



En un caso concreto, para una longitud del péndulo $L = 57,3$ cm, he obtenido un valor para el periodo de $1,54 \pm 0,02$ s.

Si se quiere estudiar la variación del periodo T con la longitud del péndulo, se ha de repetir el experimento para diferentes longitudes medidas desde el extremo donde está sujeto el péndulo al soporte hasta el centro de la esfera que cuelga. Seis longitudes diferentes pueden ser suficientes.

Observaciones

* Utilizando la fórmula del péndulo simple

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Se puede realizar el cálculo del valor de la aceleración de la gravedad, g , en el sitio, y compararlo después con el valor supuesto para el lugar en el que se encuentra, que se puede calcular con una aproximación muy buena hasta la tercera cifra decimal con la siguiente ecuación:

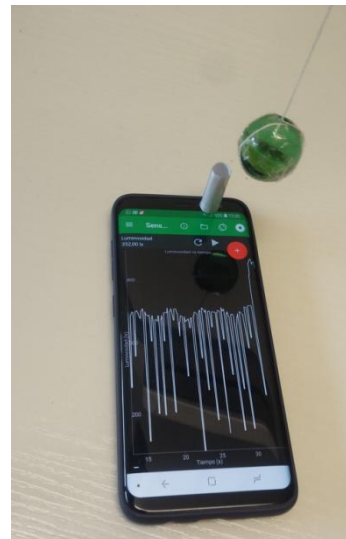
$$g = 9.780\,327 (1 + A \sin^2 L - B \sin^2 2L) - 3.086 \times 10^{-6} H \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Donde $A = 0.0053024$, $B = 0.0000058$, L = latitud del lugar y H = altura en metros sobre el nivel del mar.

Utilizando esta fórmula y los valores de latitud y altura para Lleida se obtiene un valor para la aceleración de la gravedad en la ciudad de $g = 9,802 \text{ m/s}^2$.

En el ejemplo de la medida del periodo que he indicado antes, para un valor del periodo de $1,54$ s y una longitud del péndulo de $57,3$ cm, se obtiene un valor par la aceleración de la gravedad de $g = 9,54 \text{ m/s}^2$, es decir un valor inferior en $0,26 \text{ m/s}^2$, lo que equivale a una imprecisión relativa del $2,7 \%$.

* Una alternativa parecida a la que se ha utilizado aquí es la de usar el sensor de luz en lugar del de proximidad pero realizando el experimento de la misma forma. Se ha de tener la precaución de colocar sobre el sensor de luz un tubito hecho por ejemplo con un papel enrollado para que cuando pase el péndulo por encima del tubo prácticamente tape toda la luz al sensor.



* De la misma forma que para calcular el periodo de un péndulo, los sensores de proximidad o de luz se pueden utilizar para estudiar otros movimientos que se repiten como puede ser el movimiento circular de una rueda o de una polea.

Estos sensores permiten realizar medidas de los tiempos que tardan las ruedas en dar una vuelta y estudiar por ejemplo como gira un disco de vinilo, como se mueve una máquina de Atwood, o como es arrastrado sobre una mesa un taco de madera del que tira un peso a través de una polea.

Para obturar el paso de la luz que llega a los sensores lo que se ha de hacer es pegar una lámina estrecha de cartulina negra en el exterior de la rueda o polea, de forma que al girar pase en cada vuelta por encima del sensor del teléfono. En el caso de ruedas grandes se pueden pegar diferentes cartulinas a intervalos regulares de ángulo.

15. Movimiento vibratorio vertical

En este experimento y el siguiente vamos a estudiar el movimiento vibratorio. Aquí nos conformaremos con el estudio de las magnitudes involucradas en el movimiento vibratorio armónico simple de un teléfono que oscila colgado de un muelle.

Este es uno de los experimentos que más pronto se ha realizado con smartphones, por ejemplo Tavi Casellas (Casellas, 2013) ya lo describió hace años.

Aplicaciones y material a utilizar

Volvemos a usar nuestra aplicación de cabecera **Physics Toolbox Sensor Suite**

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

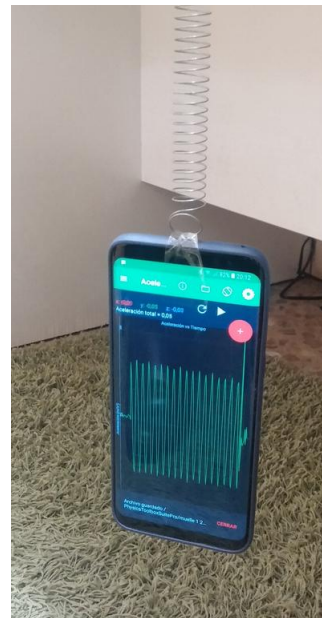
Se necesita un muelle que se enganchará al teléfono y un soporte de donde colgarlo. Los muelles de los que se cuelgan juguetes y peluches van fenomenal ya que tienen constantes elásticas pequeñas. Una goma de pollo es opcional.

Realización

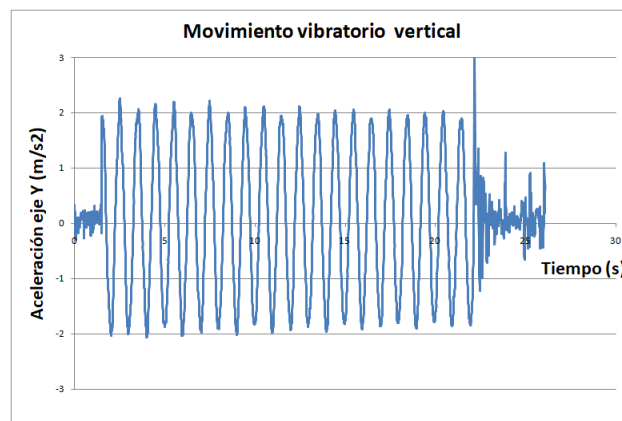
Se sujeta el teléfono a un muelle y se cuelga en vertical de un soporte.

Se pone en marcha la aplicación **Acelerómetro lineal** de Physics Toolbox y se inicia la grabación de datos con el botón más. Como se ha colocado el teléfono verticalmente solo nos interesarán los valores que se obtengan para la aceleración en el eje Y

Ahora se trata de hacer oscilar verticalmente el teléfono. Para ello se estira de él un poco hacia abajo en vertical y se suelta. Después de que realice más de diez oscilaciones se para la grabación y se guarda y/o envía para su estudio.



En la gráfica de abajo se observa perfectamente bien la oscilación de los valores de la aceleración en el eje Y (ay) que oscila entre 2 y -2 m/s² con un valor medio aproximadamente igual a cero.



Los valores máximos y mínimos corresponden a las posiciones extremas del móvil, abajo y arriba, altura mínima y máxima, mientras que los valores nulos de la aceleración se dan con la situación del móvil cada vez que pasa por la posición de equilibrio.

El tiempo medido para diez oscilaciones (tiempo entre diez picos máximos o diez mínimos) dividido por 10 es de 0,99 s, y como la masa del teléfono suspendido del muelle es de 167,6 g se puede

calcular la constante elástica del muelle haciendo la aproximación de que el movimiento ha sido armónico simple. En este caso la ecuación que relaciona el periodo de vibración con la masa que cuelga es:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$$

Por lo que el valor de la constante elástica es de 6,75 N/m.

Sabiendo el valor del periodo (T), el de la masa que cuelga (m), el de la constante elástica (K) y el de la aceleración máxima (a_{\max}) es posible calcular teóricamente otras magnitudes como son la elongación (A), la velocidad (V_{\max}) y las energías cinética (E_c) y potencial (E_p) máximas del teléfono que se ha colgado del muelle, a través de las ecuaciones que las relacionan (Giancoli 2008a).

$$A=\frac{m \cdot a_{\max}}{K}$$

$$V_{\max}=A\frac{2\pi}{T}$$

$$E_{c\max}=E_{p\max}=\frac{1}{2}K \cdot A^2$$

Obteniéndose $A = 5 \text{ cm}$, $V_{\max} = 0,3 \text{ m/s}$, $E_{c\max} = E_{p\max} = 8,4 \text{ mJ}$, aproximadamente.

Observaciones

* Es conveniente que el teléfono oscile lentamente por lo que según con que muelle se tendrá que añadir más peso al teléfono, pero sin que se estire demasiado y se deforme.

* Este experimento, como la mayoría de los que estudian movimientos se podría haber filmado para posteriormente analizarlo con una aplicación como Vidanalysis, y directamente se hubieran obtenido los valores del periodo y la amplitud.

* El experimento se podría haber realizado con una goma de pollo (goma elástica) en lugar de con un muelle. En este caso se hubieran obtenido unos valores también periódicos y de forma similar pero con una disminución mucho más acentuada con el tiempo de las aceleraciones máximas

16. Coeficiente de amortiguamiento de una goma de pollo

Si se cuelga un teléfono móvil de una goma de pollo (goma elástica) en lugar de un muelle se puede estudiar su movimiento oscilatorio vertical como en el caso del experimento anterior y además analizar cómo se amortigua el movimiento con el tiempo ya que la pérdida de energía en los estiramientos y alargamientos de la goma en general es mucho más pronunciada que en el caso de los muelles

Aplicaciones y material a utilizar

Como aquí lo que se pretende medir es la aceleración del teléfono a lo largo del tiempo la aplicación pertinente es también **Physics Toolbox Sensor Suite**.

Physics Toolbox Sensor Suite



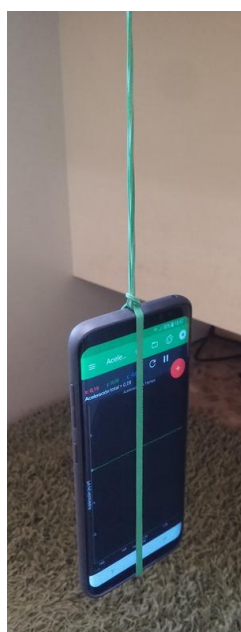
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Se necesitan una o varias gomas de pollo (bandas elásticas de goma) y un soporte donde colgarlas.

Realización

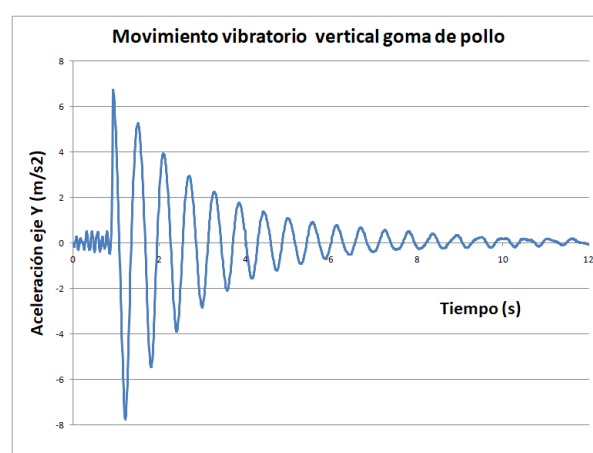
Se mide la masa del teléfono y se engancha verticalmente a una goma de pollo, que a su vez se cuelga de un soporte.

Se pone en marcha la aplicación **Acelerómetro lineal** de Physics Toolbox y se inicia la grabación de datos con el botón más. Como se ha colocado el teléfono verticalmente solo nos interesarán los valores que se obtengan para la aceleración en el eje Y.



Se estira el teléfono un poco hacia abajo en vertical y se suelta. Después de que realice más de diez oscilaciones se para la grabación y se guarda y/o envía para su estudio.

Si se grafican los datos de la aceleración el eje Y respecto al tiempo se obtiene una gráfica como la de abajo



Los picos máximos de la gráfica corresponden a la aceleración en la parte baja de cada oscilación, mientras que los picos en la parte superior de la gráfica indican los valores de la aceleración en lo alto de cada oscilación.

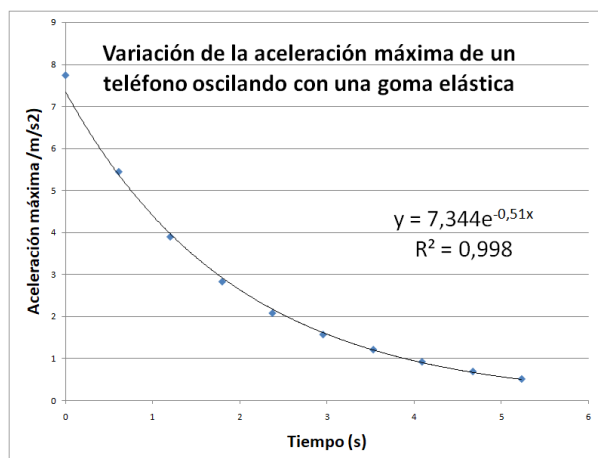
El promedio de tiempo entre dos picos máximos o dos mínimos es el período, T , así que, como en el caso del muelle, lo obtendremos calculando el tiempo entre diez picos máximos y dividiéndolo por diez. En este ejemplo se obtiene un valor de $T = 0,58 \pm 0,02$ s.

Coeficiente de Amortiguamiento

También se aprecia en la gráfica como la oscilación se va amortiguando. Si la amortiguación no es muy grande la amplitud máxima de la oscilación disminuye exponencialmente según la ecuación

$$y = Ae^{-\frac{b}{2m}t}$$

donde b es el coeficiente de amortiguamiento y m la masa suspendida.



Como se ve en la gráfica de arriba, la línea de tendencia ajusta muy bien ($R^2 = 0,998$) y da una ecuación para ella de

$$y = 7,34e^{-0,51t}$$

Dado que el teléfono que colgaba de la goma tiene una masa de 0,167 kg, el coeficiente de amortiguamiento, $b = 2 \cdot m \cdot \gamma = 2 \cdot 0,167 \cdot 0,51$, tiene un valor para la goma de pollo usada de 0,17 kg/s

Observaciones

* Es conveniente que el teléfono oscile lentamente por lo que, según con que goma, se tendrá que añadir más peso al teléfono, pero sin que se estire demasiado.

* Para pequeñas oscilaciones la fuerza de recuperación de una goma de pollo es aproximadamente lineal y se puede considerar que funciona como si fuera un resorte. Sin embargo, si la banda de goma se estira demasiado, la fuerza de recuperación ya no es lineal.

Las gomas elásticas también tienen histéresis si se estiran despacio. La fuerza de la goma es ligeramente diferente cuando se estira que cuando se relaja, para el mismo desplazamiento desde la posición de equilibrio.

* Hay autores que prefieren llamar coeficiente de amortiguamiento a $\gamma = b/2m$, pero el hecho de

que dependa de la masa que se cuelgue y no solo de las características de la goma a mí no me convence. También hay autores (Alonso y Finn, 1976) que no asignan ningún nombre ni a b ni a γ .

* Como el valor de $\gamma = 0,51$ es bastante más pequeño que el de la frecuencia angular $\omega = 2\pi/T = 10,8$ rad/s, el movimiento vibratorio, aunque amortiguado, se puede considerar harmónico, y por tanto se puede aplicar con muy poco error la ecuación que relaciona el periodo con la constante elástica de la goma y así calcularla:

$$K = 4\pi^2 \frac{m}{T^2} = 4\pi^2 \frac{0,167}{0,58^2} = 19,6 \text{ N/m}$$

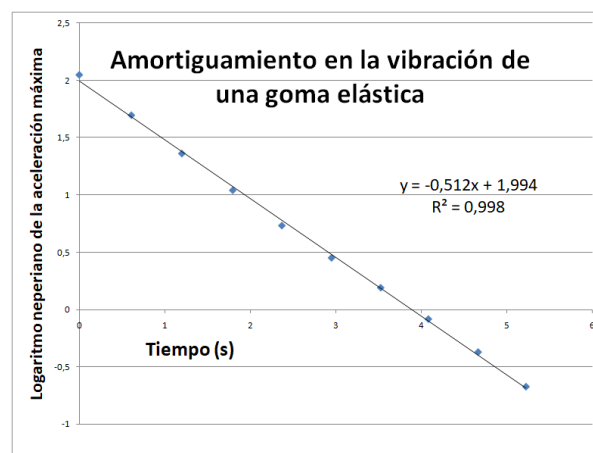
* La ecuación

$$y = Ae^{-\frac{b}{2m}t}$$

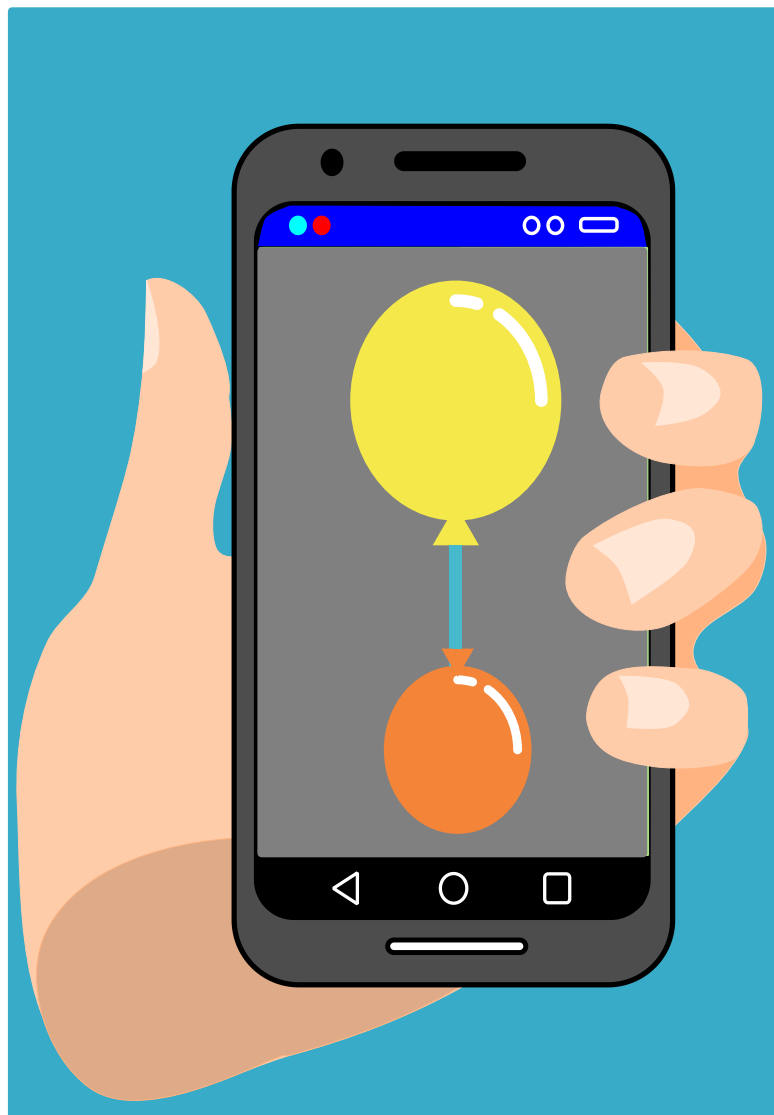
puede ser linealizada tomando el logaritmo neperiano y queda

$$\ln y = \ln A - \frac{b}{2m}t$$

De manera que se pueden representar en una gráfica los valores del logaritmo neperiano de la aceleración máxima frente al tiempo y debe de salir una línea recta si el decrecimiento es exponencial. La pendiente de la recta corresponde a $\gamma = -b/2m$.



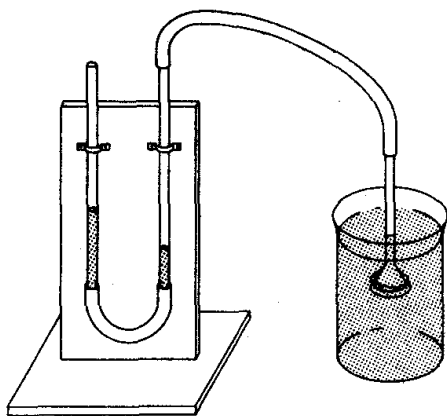
Mecánica de fluidos



17 La presión en el fondo de un recipiente

En esta sección se proponen experimentos que tienen en común la medida de la presión en el seno de los fluidos en los que se encuentra un teléfono que dispone de un sensor barométrico.

En este primer experimento se pretende reestablecer la relación entre la presión y la profundidad debajo de la superficie de un líquido, es decir, la denominada ley de Stevin. No puede ser un experimento más clásico, salvo que aquí se utiliza un sensor barométrico insertado en un teléfono y tradicionalmente se usaba un manómetro de dos ramas abiertas o de tubo en U (Unesco, 1973).



2.269 la presión del agua varía con la profundidad. En *Nuevo manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*

Aplicación y materiales a utilizar

Se necesita una aplicación que registre el valor que suministra el barómetro de teléfono (ojo!, no todos los dispositivos móviles integran un barómetro) como son las suites **Physics Toolbox** y **Phyphox**.

Physics Toolbox Sensor Suite



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es> 419

PhyPhox



https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=es

Se necesita una funda impermeable donde introducir el teléfono y que no se moje. También un sistema para poder suspender el teléfono horizontalmente y una regla. Si la funda es transparente y suficientemente flexible se puede manipular el teléfono directamente.

Como líquido se puede usar agua, agua con sal, aceite, alcohol, o cualquier otro líquido con densidad diferente y que no ataque al plástico de la funda.

Por último, se ha de conseguir un recipiente para el líquido suficientemente amplio para que quepa el móvil.



Realización

Se introduce el teléfono dentro de una funda impermeable bien cerrada que se cuelga en horizontal mediante cordeles. A continuación se pone en marcha la aplicación Barómetro de la suite Physics Toolbox en la modalidad lectura digital para poder ver bien los valores de la presión.

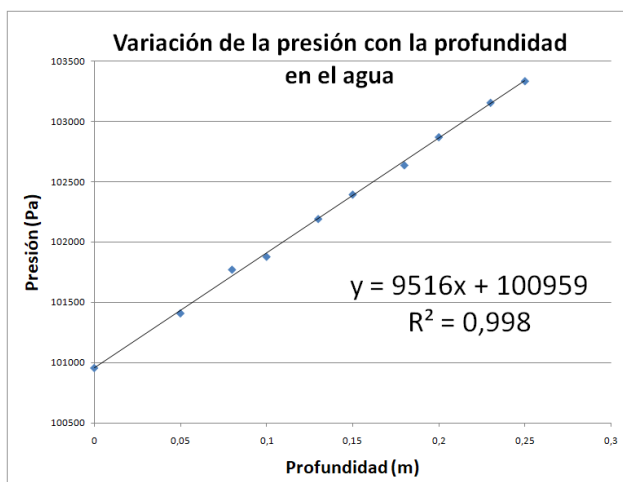
Se anota la presión atmosférica que indica el teléfono y se sumerge en un recipiente que se ha llenado previamente de agua (o del líquido con el que interese experimentar). Para medir la

profundidad del dispositivo debajo de la superficie se usa una regla o un flexómetro.



Se anotan los valores de la presión y profundidad para las diferentes posiciones en las que se coloque el teléfono y posteriormente se construye una gráfica con dichos valores.

En la gráfica de abajo se aprecia claramente una relación lineal entre los valores de presión y profundidad para el caso concreto de usar agua del grifo con una correlación bastante buena, $R^2 = 0,998$.



La ecuación que relaciona las dos variables $y = 9516x + 100959$ se corresponde con la teoría hidrostática (Alonso y Finn, 1976) que indica que la presión en el fondo de un recipiente que contiene un líquido viene dada por la ley de Stevin:

$$P = d \cdot g \cdot h + P_0$$

donde P_0 es la presión atmosférica, g la aceleración de la gravedad y d es la densidad del líquido. De

manera que $P_0 = 100995$ Pa es la presión atmosférica medida antes de sumergir el teléfono.

La ecuación obtenida

$$P = 9516 \cdot h + 100959 \quad (P \text{ en Pa, si } h \text{ en m})$$

permite determinar la presión para cualquier profundidad en el agua y también obtener el valor de su densidad:

$$d_{\text{agua}} = 9516/g = 9516/9,8 = 971 \text{ kg/m}^3$$

Valor que presenta una incertidumbre relativa de un 2,7% respecto al valor de la densidad del agua del grifo a 1 atmósfera y 20 °C, que es de 988 kg/m³.

Si el mismo experimento se realiza con diferentes fluidos (agua salada, aceite, alcohol, etc.) se puede obtener la ecuación correspondiente y el valor de la densidad de cada uno de esos líquidos.

Observaciones

* Además del teléfono puede ser conveniente disponer de otro dispositivo, como por ejemplo un ordenador o una tableta, desde donde si es necesario podamos dar las órdenes al teléfono y podamos visualizar su pantalla, dado que el móvil estará dentro de una funda de plástico que en algún caso podría dificultar ver y manipular directamente el aparato.

En este caso, para comunicar el teléfono con el ordenador se puede utilizar el programa **TeamViewer** en el ordenador o tableta auxiliar conjuntamente con la aplicación **Host** de TeamViewer en el móvil, que existe para todo tipo de sistemas operativos de los teléfonos. TeamViewer es un programa gratuito para particulares que no solo permite controlar ordenadores a distancia a través de internet, sino también visualizar y manejar teléfonos y tabletas que estén conectados al mismo wifi.

En caso de usar Phyphox no haría falta utilizar Teamviewer ya que la propia aplicación permite ser controlada por otro dispositivo a través de internet.

18 La presión en el interior de un globo

Cualquiera que ha inflado un globo de goma con el aire de sus pulmones se ha podido dar cuenta que al principio cuesta bastante, pero que cuando el globo ya está un poco hinchado ya es más fácil continuar inflándolo, para volver a tener que soplar con más fuerza al final, antes de que estalle.

Parece pues que hay una relación, que no es lineal, entre el radio del globo y la presión que hay que ejercer para llevarlo a ese tamaño. Es el problema que ya han abordado otros autores (Monteiro, 2016) y que se propone estudiar este experimento: ¿Cuál es la relación entre la presión y el radio de un globo de goma inflado?

Aplicaciones y materiales a utilizar

En este caso también se pueden utilizar las suites **Physics Toolbox** y **Phyphox** que son capaces de registrar los valores que aporta el barómetro de teléfono.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

PhyPhox



https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=es

Además del teléfono, también se necesita en este experimento otro dispositivo, ordenador o tableta, para poder manejar el teléfono a distancia ya que el móvil estará dentro de un globo de goma hinchado que no permitirá ver ni manipular directamente el aparato.

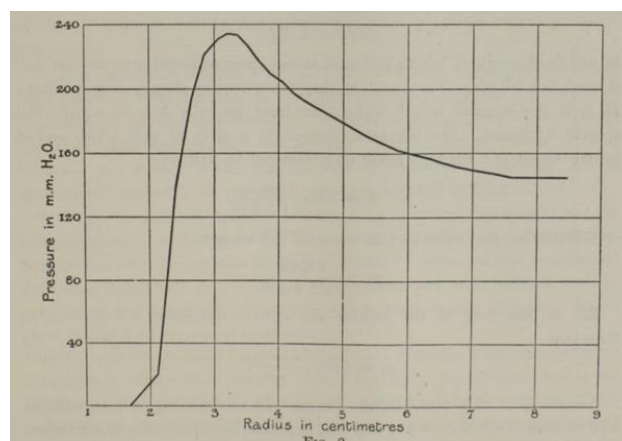
En el caso de Physics Toolbox, para comunicar el teléfono con el ordenador se utilizará el programa **TeamViewer** conjuntamente con la aplicación **Host** de TeamViewer en el móvil.

En caso de usar Phyphox no hará falta utilizar Teamviewer ya que la propia aplicación permite ser controlada por otro dispositivo a través de internet.

Por último, se necesita un globo que ha de ser de goma, esférico, grande y con la boca más ancha posible ya que se ha de poder introducir el teléfono en su interior.

Inflando un globo de goma

Ya en 1909, los profesores W. A. Osborne, W. Sutherland de la Universidad de Melbourne publicaban en los Proceedings de la Royal Society B el artículo *The elasticity of rubber balloons and hollow viscera* donde mostraban los resultados que habían obtenido al relacionar la presión a la que sometían un globo elástico con el radio al que se inflaba. La gráfica de abajo pertenece a esa publicación.



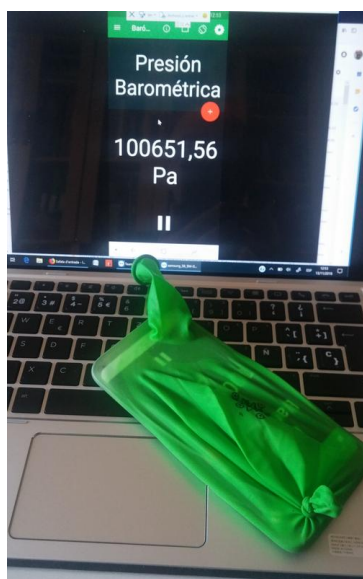
Es un resultado congruente con lo postulado en la introducción ya que inicialmente hay que aumentar la presión y a partir de los 3,5 cm de radio empieza a disminuir.

Actualmente hay diversos modelos matemáticos que se ajustan más o menos bien a los datos experimentales y que se basan en el conocimiento

actual de la estructura interna de las gomas. Parece ser que alrededor de 1,5 del radio natural del globo es cuando la presión comienza a disminuir y que lo hace inicialmente con una relación bastante lineal con el radio.

Realización

Una vez que se dispone de un globo grande de boca ancha, se introduce el teléfono en su interior. ¡Esta es la parte más difícil del experimento!

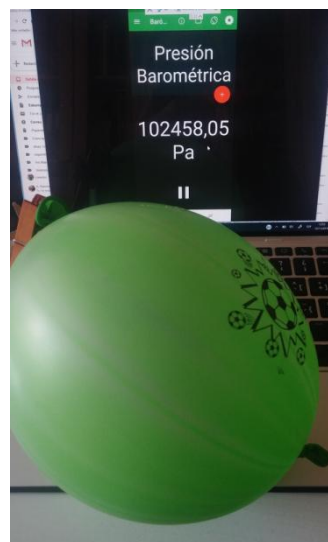


Los globos de goma son flexibles y translúcidos lo que permite cuando están desinflados poner el móvil en funcionamiento y arrancar la aplicación a través de la goma sin dificultades, aunque una vez hinchado ya hay que actuar a distancia.

Si la aplicación a utilizar es barómetro de Physics Toolbox se usará Teamviewer en el ordenador para visualizar los valores de la presión.

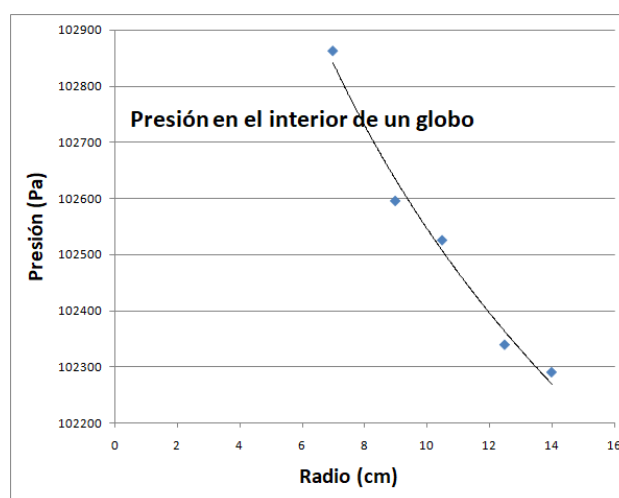
Antes de inflar el globo se anota la presión, que será la atmosférica en ese momento (100651,56 Pa, en la imagen), y a continuación se infla un poco el globo y se mide su diámetro, por ejemplo colocándolo ajustado pero sin apretar entre dos cajas y midiendo la distancia entre ellas con una regla milimetrada.

Se anota tanto el valor del diámetro como de la presión a la que se encuentra el aire en el interior del globo y a partir de aquí se va inflando poco a poco el globo y midiendo periódicamente su diámetro y la presión del aire.



Si se representan en un gráfico los valores de presión versus radio se obtiene una curva como la de más abajo, en la que el primer punto corresponde al primer tamaño del globo en el que tiene pinta esférica y el último a la longitud de la regla de plástico.

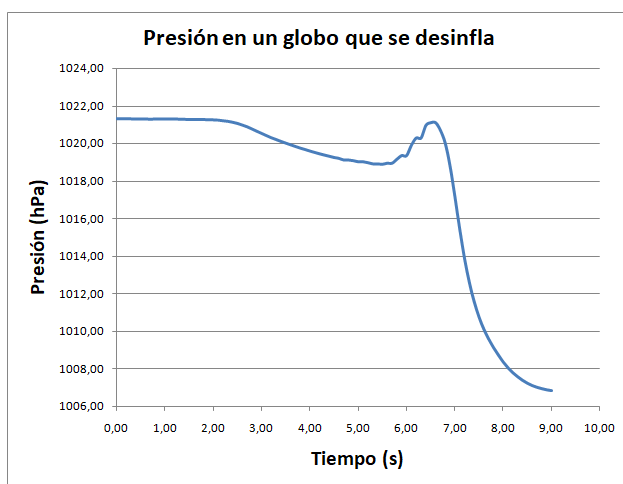
Como se ve claramente hay un intervalo en el tamaño del globo en el que la presión disminuye con el radio. Es decir que la presión en el interior del globo aumenta hasta un máximo para después ir disminuyendo (la parte del gráfico de arriba) y luego ir aumentando para radios del globo próximos a su tamaño máximo, en el que explota.



Es mucho más fácil conseguir la forma de la gráfica entera y no solo una porción si el experimento se hace al revés. Se infla el globo hasta que parezca que está a punto de explotar y se pone a grabar el

valor de la presión. A continuación se deja libre la boca del globo para que el aire salga libremente.

Conforme el aire sale el radio del globo va disminuyendo por lo que la presión en su interior va variando con el tiempo, es decir con el radio. No es necesariamente el radio directamente proporcional al tiempo, pero si proporcional, por lo que una gráfica presión contra el tiempo se asemeja a la gráfica presión versus radio, como se ve a continuación:



Gráfica que coincide en la forma con la que los estudios científicos (Muller y Strehlow, 2004) indican que se comportan los globos de goma (no los de otros materiales).

Observaciones

* El hecho de que sea más fácil inflar un globo cuando ya está un poco estirado ha propiciado una buena **táctica para empezar a inflar un globo** consistente en estirarlo sujetándolo por la boca y por el extremo opuesto y soplar mientras está alargado.

* Esta misma característica está en la base de una demostración clásica en la que se conectan dos globos medianamente inflados a través de un tubo que inicialmente impide que pase el aire de un globo al otro.

Uno de los globos está más inflado que el otro y se pregunta al auditorio qué pasará **cuando se deje pasar el aire por el tubo, ¿se igualaran los tamaños?**



La sorpresa viene cuando resulta que el globo más inflado todavía se infla más y el más pequeño todavía se reduce más. Aunque muchas personas tengan la experiencia de inflar un globo, la mayoría no se ha puesto a reflexionar sobre cómo lo hace y ante el reto se adjudica más poder al globo más inflado.



* Si se infla el globo soplando se ha de tener en cuenta que el aire que sale de los pulmones va cargado de vapor de agua que se condensa sobre todo cuando se desinfla el globo, ya que al final disminuye rápidamente la presión, y por tanto la temperatura. Esto hace que se moje el teléfono y que no sea conveniente mantenerlo mucho tiempo así, por lo que **es conveniente sacar el móvil del globo lo antes posible** una vez realizadas las medidas que interesen.

19 Variación de la presión con la altura

Otra de las utilidades del barómetro de los teléfonos móviles es la de relacionar las variaciones de presión con las variaciones de altura, lo que puede permitir, no solo saber a que altura estamos, sino también a la velocidad a la que subimos o bajamos.

La sensibilidad del barómetro de los móviles es suficientemente buena como para poder medir con precisión diferencias pequeñas de altura, como es la de una casa.

Aplicaciones y materiales a utilizar

Para averiguar la velocidad de subida o bajada usaremos la aplicación PhyPhox, que tiene una propuesta de experimento especialmente diseñada para hacer esto.

PhyPhox



https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=es

Como alternativa se puede utilizar el barómetro de la suite Physics Toolbox.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

También se necesita el acceso a una casa con ascensor que tenga muchos pisos (más de tres) y, opcionalmente una cinta métrica larga.

Realización

La aplicación Phyphox integra el experimento Ascensor (Elevator) que de una manera sencilla proporciona datos de presión, velocidad, altura y aceleración a la que se mueve el ascensor mientras se sube o baja en él.

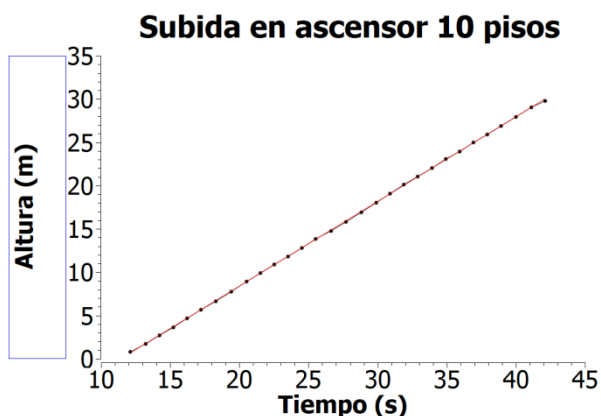
Para realizar el experimento no hay más que subirse en el ascensor, abrir la aplicación y seleccionar el experimento Elevator. A continuación se sitúa el teléfono en el suelo del ascensor, se pulsa el botón de inicio de la grabación y se pone en marcha el ascensor.

Cuando se llega al piso deseado se para la grabación de la aplicación y ya está. Directamente aparecen las gráficas de la altura, velocidad, aceleración y presión frente al tiempo.

En el caso de las gráficas de abajo, se aprecia que se ha subido una altura de 30 m con una velocidad aproximada de 1 m/s, valores que concuerdan perfectamente con el hecho de haber subido diez pisos en ascensor.



Los datos se pueden exportar y tratarlos a continuación con una hoja de cálculo o un programa adecuado. Por ejemplo, el tratamiento de los datos altura/tiempo con el programa SciDavis proporciona una gráfica como la siguiente, con un valor de la velocidad (pendiente de la recta) de 0,98 m/s.



Observaciones

* A pesar de la sensibilidad del sensor de presión es conveniente **realizar medidas de al menos tres pisos** para obtener unos datos aceptables.

* Se puede **hacer el mismo experimento de la misma forma** pero utilizando la aplicación Physics Toolbox, que nos proporcionará solo los datos de presión y de tiempo, de manera que después tendremos que convertir los valores de presión en valores de altura, y obtener posteriormente la velocidad.

Como la altura con la que se sube o baja con un ascensor es relativamente pequeña, para relacionar la presión con la altura se puede utilizar la ecuación hidrostática de primer orden para el aire, de la misma forma que la usamos para el agua en los experimentos de la medida de la presión con la profundidad, aunque aquí con el signo menos ya que la presión en el aire disminuye con la altura.

$$P_h = P_0 - \rho \cdot g \cdot h$$

donde P_h es la presión a la altura h , P_0 es la presión al comenzar a medir, ρ es la densidad del aire y g es la aceleración de la gravedad.

Si se quiere simplificar, cuando el experimento se está haciendo en la educación secundaria la densidad se puede considerar constante con un valor de 1200 kg/m^3 a 1 atm y 20°C .

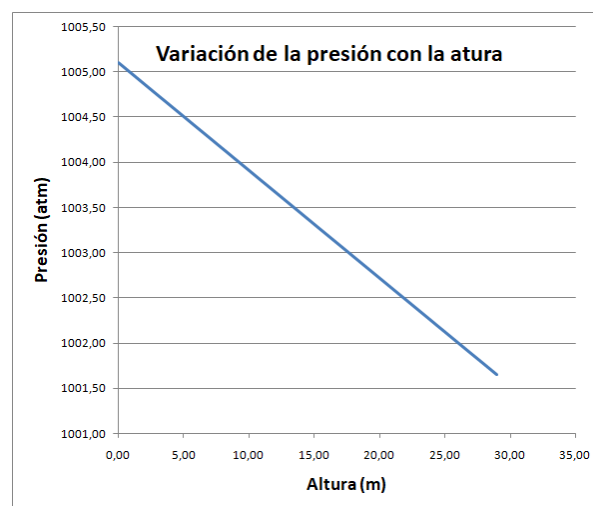
* **Si se dispone de un dron** capaz de aguantar un teléfono se puede realizar este mismo experimento, no ya en un ascensor, sino elevándolo a una altura mucho mayor.

* La pregunta del experimento también se puede hacer al revés: **¿Cuál es la relación entre la presión y la altura sobre el suelo?**

En este caso lo mejor es utilizar en el móvil la lectura digital del modo Barómetro de Physics Toolbox, de forma que se lea directamente el valor de la presión.

Con una cinta métrica larga, de las que se usan en geología o educación física, se pueden ir midiendo las alturas a las que nos encontremos de las diferentes plantas del edificio y paralelamente anotando también el valor de la presión atmosférica que nos dé el teléfono.

Una vez obtenida media docena de pares de valores ya se pueden tratar los datos en una hoja de cálculo o simplemente realizando la gráfica y los cálculos sobre un papel. Es previsible que se obtenga una gráfica con puntos en línea recta.

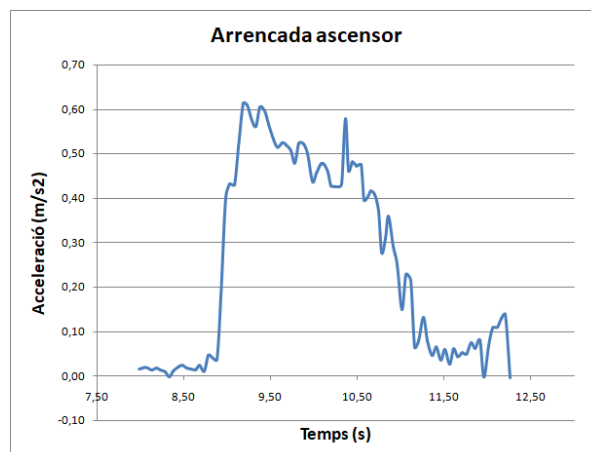


Se debe obtener el valor de la pendiente para así poder utilizar la ecuación de la recta $h = P_0 - a \cdot P$, donde P_0 es la presión en la planta baja y a es la pendiente de la recta, para poder hacer posteriormente predicciones, como ¿en qué piso estamos? sólo mirando el valor de la presión.

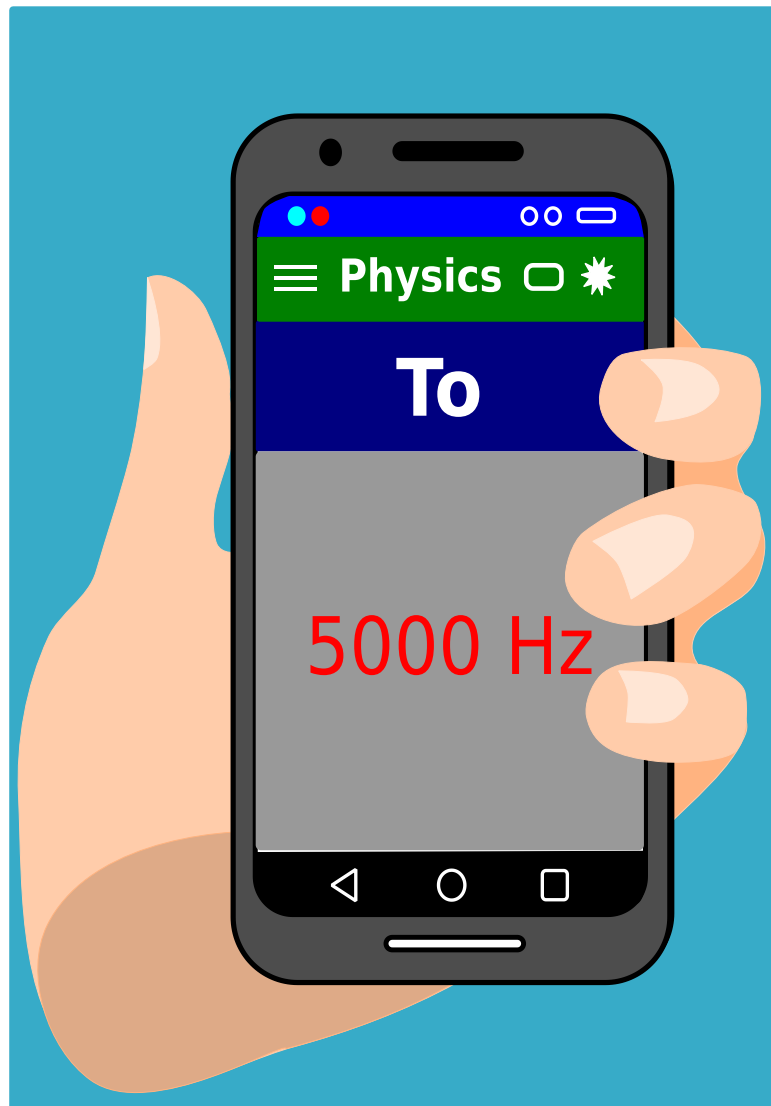
* La aplicación Phyphox ya mide la aceleración del ascensor a la vez que las otras magnitudes, y

Physics Toolbox también puede hacer medidas múltiples, es decir la aceleración conjuntamente con la presión y el tiempo, así que este experimento también permite **estudiar la aceleración de arranque y de frenado del ascensor**. Por ejemplo, en el caso que hemos tratado, en la gráfica aceleración/tiempo se ven dos picos muy marcados que corresponden al arranque y el frenado del ascensor.

Si se estudian los datos en el momento en el que el ascensor inicia su movimiento se ve que mantiene una aceleración media de $0,29 \text{ m/s}^2$ durante 3,6 s, lo que provoca que adquiera una velocidad de $1,0 \text{ m/s}$, que es el valor que se ha visto que mantiene el ascensor en la subida.



El sonido



20 El sonómetro

Los teléfonos y tabletas pueden tener diferente tipo de sensores integrados, pero todos ellos disponen de un micrófono y de unos altavoces y también de una entrada/salida de audio a la que se puede conectar un micrófono o unos altavoces externos, con la entrada de sonido mono y la salida estéreo. Esto convierte a estos aparatos en unas herramientas estupendas para estudiar diferentes propiedades del sonido, por ejemplo su nivel de intensidad.

Aplicación y materiales a utilizar

Las suites, como Physics Toolbox, incorporan un sonómetro, pero a mí me gusta la aplicación sonómetro **SPL Meter**, aunque hay muchas más en el mercado.

SPL Meter



No se necesita nada más, aunque es conveniente tener acceso a otro sonómetro ya calibrado para poder calibrar el propio.

Realización

Se pone en marcha la app sonómetro en el lugar o a la distancia que interese y se mide directamente el valor.

Una experiencia podría consistir en medir el ruido ambiental de los diversos espacios del centro educativo cuando están vacíos o cuando hay actividad académica o de recreo. Otra, medir la potencia sonora emitida por diferentes teléfonos.

Es especialmente interesante estudiar cómo varía con la distancia el nivel de intensidad sonora (dB) de un sonido de una frecuencia determinada (por ejemplo 1000 Hz) producido por un teléfono.

Con una aplicación adecuada, por ejemplo Physics Toolbox, se genera un tono con un teléfono, procurando que se produzca a la vez el mínimo de ruido de fondo. Cuanto más abierto y uniforme sea el lugar en el que se realiza la experiencia, mejor, ya que al teléfono no solo le llega el sonido directo sino también las reverberaciones.

Con la aplicación sonómetro en marcha se coloca otro teléfono a distancias sucesivas cada vez más alejadas, por ejemplo a 1, 2, 4, 8,... metros del móvil que genera el tono, y se anotan los valores del nivel de intensidad en decibelios (dB) que suministra el sonómetro.

Como según avanza la onda sonora su energía se ha de repartir esféricamente, su intensidad, que es la potencia por unidad de superficie que atraviesa, ha de disminuir con el inverso del cuadrado de la distancia, ya que la superficie de una esfera se calcula como $S = 4\pi r^2$.



Los micrófonos y las aplicaciones con el nombre de sonómetro miden la presión sonora (SPL, Sound Pressure Level, en sus siglas en inglés) y la trasforman en nivel de intensidad, β , por referencia al supuesto nivel mínimo de audición, que corresponde a una intensidad $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, o lo que es lo mismo una presión $P = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^2$.

El nivel de intensidad no es una función lineal de la intensidad sino logarítmica (Giancoli, 2008a):

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Lo que hace que un ruido diez veces mayor solo suponga un aumento en 10 unidades del nivel de intensidad, β .

Combinando, pues, la variación de la intensidad sonora con la distancia y el cálculo del nivel de intensidad, se obtiene que para una distancia doble el nivel de intensidad debería disminuir solo en 6 dB

Observaciones

* Si sólo se quieren valores relativos a un nivel de intensidad dado, se pulsa en REL y a medir, pero si se quieren valores absolutos es conveniente calibrar nuestro sonómetro comparándolo con otro fiable. La tecla CAL nos lleva al calibrado donde se deben introducir los valores del propio teléfono y los del sonómetro de referencia. En todo caso los valores que se obtengan sólo tienen validez en el ámbito escolar.

* Los resultados dependen del teléfono que se utilice. El intervalo entre el ruido de fondo y la saturación puede ser sólo de 20 dB en los móviles malos, pero podría llegar a superar los 100 dB en los buenos.

En la tabla siguiente se incluyen los niveles de intensidad de algunos ruidos de cara a tener alguna referencia sobre valores que puede indicar el sonómetro.

Niveles aproximados de la intensidad de algunos sonidos		
Nivel de intensidad (dB)	Intensidad (W/m ²)	Fuente de sonido
200 dB	10 ⁸	Bomba atómica similar a Hiroshima y Nagasaki
180 dB	10 ⁶	Cohete en despegue
142.2 dB	10 ²	Récord Guinness de ruido en un estadio
140 dB	10 ²	Umbral del dolor. Coche de Fórmula 1
130 dB	10	Avión en despegue
120 dB	1	Motor de avión en marcha. Mascletada
110 dB	10 ⁻¹	Concierto roquero
100 dB	10 ⁻²	Perforadora eléctrica
90 dB	10 ⁻³	Tráfico
80 dB	10 ⁻⁴	Tren
70 dB	10 ⁻⁵	Aspiradora
50/60 dB	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁶	Aglomeración de gente
40 dB	10 ⁻⁸	Conversación en voz baja
20 dB	10 ⁻¹⁰	Biblioteca
10 dB	10 ⁻¹¹	Respiración tranquila
0 dB	10 ⁻¹²	Umbral de audición

21 Medida directa de la velocidad del sonido

Desde que se dispone de sistemas que permiten medir con precisión tiempos muy cortos, como es el que transcurre entre la producción de un ruido y su eco en una pared muy próxima, es posible medir la velocidad del sonido midiendo el tiempo que pasa entre ir y venir.

Aplicación y materiales a utilizar

Utilizaremos una aplicación que permite grabar sonidos y luego muestra la gráfica de su intensidad en función del tiempo lo que hace posible medir el intervalo de tiempo que pasa entre dos ruidos, como es **AudioTime+**, que ya hemos utilizado en los experimentos de mecánica.

Ciencia Móvil - AudioTime+

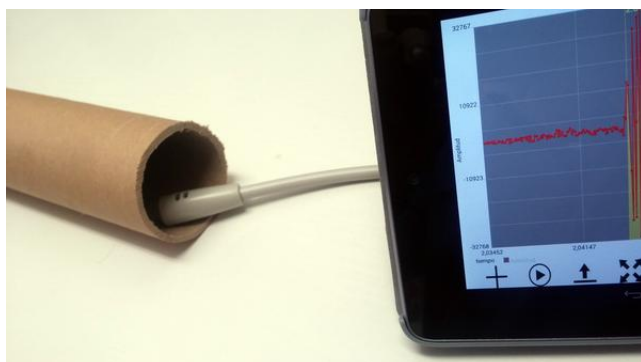


<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.iu.s.audiotimeplus>

Se necesita un micrófono externo que se pueda conectar al teléfono o tableta y un tubo de plástico o cartón cerrado por un extremo. Un tubo de plástico de conducción de agua de PVC de unos 6 cm de diámetro y unos 3 m de largo está bien.

Realización

El micrófono, enchufado a la salida de auriculares del dispositivo se coloca como se ve en la fotografía en la boca del tubo, que debe estar cerrado por el otro extremo.



Se abre la aplicación AudioTime+ y se comienza la grabación pulsando el botón +. A continuación se hace una palmada con las manos en la boca del tubo y se detiene la grabación.

El resultado es como se ve en la imagen de abajo una vez que se ha agrandado la gráfica y se ha marcado el principio del ruido y el inicio de su eco pulsando sucesivamente con un dedo en la pantalla. Las dos marcas amarillas indican el tiempo en el que se han producido los ruidos y en la parte de debajo de la pantalla se muestra también el valor del intervalo de tiempo entre ellos.



En este caso el experimento lo he hecho con un tubo de cartón corto de 1,66 m de longitud, siendo el tiempo de ida y vuelta del sonido dentro del tubo de 0.00974 s. A pesar de la corta longitud del tubo el resultado para la velocidad del sonido sale bastante bien:

$$V_{so} = d/t = 2 \times 1,66 / 0,00974 = 341 \text{ m/s}$$

Observaciones

* El micrófono debe estar un poco introducido en la boca del tubo. Normalmente no se graba bien el eco si se pone directamente el propio micrófono del teléfono o tableta en la boca del tubo. De todos modos un micrófono de ordenador cualquiera como el que se ve en la fotografía da buenos resultados, y es bastante barato.

* La medida directa de la velocidad del sonido también se puede realizar con unos auriculares estéreos, como los que regalan en el AVE. Con la misma aplicación Audiotime+ se mide el tiempo

entre ruidos que recogen los auriculares separados el máximo posible (aproximadamente 2 m) cuando se da una palmada a un lado y en línea recta con los dos auriculares.

Los auriculares no son propiamente micrófonos, pero actúan como tales suficientemente bien.

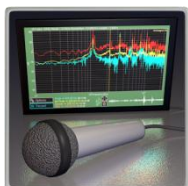
22 La velocidad del sonido con tubos y varillas

Medir la velocidad del sonido de diferentes maneras es un clásico en los laboratorios escolares. En este punto se va a mostrar cómo medir la velocidad del sonido en el aire y también la velocidad del sonido en varillas metálicas, haciendo uso del micrófono que llevan todos los teléfonos y tabletas y de la entrada de auriculares. Se comprueba que el sonido no se desplaza en todos los medios con la misma velocidad.

Aplicación y materiales a utilizar

Se utilizará una aplicación que mida la frecuencia fundamental de los sonidos. La mayoría de las aplicaciones generales para registrar datos de los sensores de los teléfonos tienen un apartado que permite medir el tono fundamental (pitch) de un sonido, por ejemplo Physics Toolbox Sensor Suite, pero en este caso propongo una app específica como es **Spectrum Analyzer. Analizador de sonido**, ya que retiene el valor de la última frecuencia fundamental obtenida y permite mirarla con tranquilidad, a diferencia de las aplicaciones generales que borran el valor de la pantalla en cuanto deja de oírse el sonido.

Spectrum Analyser/Analizador de sonido



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuw1.spectrumanalyzer>

Para medir la velocidad del sonido en el aire se usará un tubo de ensayo. También necesitaremos varillas metálicas de diferentes elementos, como aluminio, cobre o hierro (acero).

En cuanto a las varillas, pueden servir perfectamente las barras de aluminio y de acero de los soportes de laboratorio. En las ferreterías se pueden encontrar varillas de aluminio de un metro de longitud y varios espesores y también varillas largas de acero, que se pueden cortar. Conviene que sean un poco gruesas, de un centímetro de diámetro, por ejemplo, ya que así el sonido conseguido será más intenso.

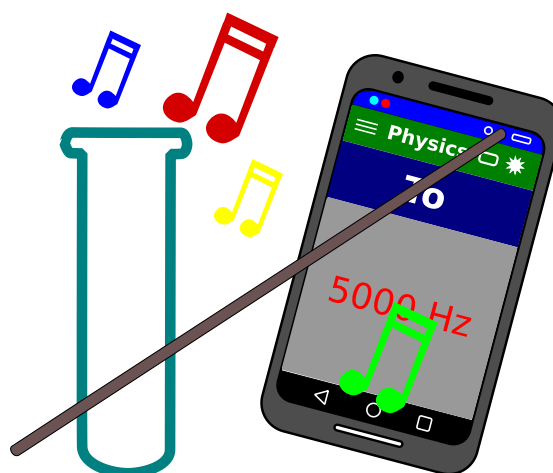
Es más difícil conseguir varillas de latón o de cobre, pero es fácil encontrar tubo de cobre en las ferreterías, tubo que también se puede hacer vibrar longitudinalmente, aunque al estar hueco el sonido no es tan fuerte como en las barras.

Para mejorar el rozamiento entre la varilla y los dedos se deben impregnar con un poco de resina. Si en su pueblo hay una droguería de las de antes vaya y compre colofonia. Si no tiene droguerías, como es mi caso en Lleida, debe comprar una pastilla de resina para violín en una tienda de música (a partir de 6 €).



Realización

Si soplamos en la boca de un tubo, por ejemplo de un tubo de ensayo, podemos conseguir que resuene y se produzca un sonido que a veces es una nota musical estándar. En todo caso, casi nunca es un sonido puro de una única frecuencia. En todos los instrumentos musicales ocurre algo similar: los sonidos que se producen son una mezcla de armónicos y otras frecuencias que sentimos todas a la vez.

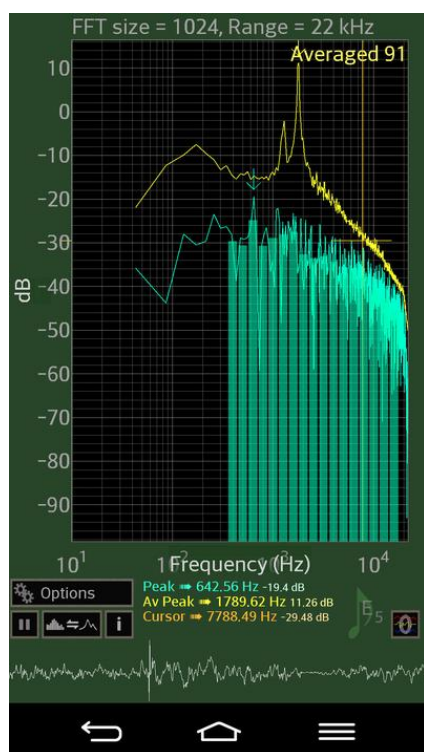


Los ordenadores, tabletas y teléfonos tienen la capacidad de procesar gran cantidad de información rápidamente y, con la ayuda del software o

aplicación correspondiente, de analizar las frecuencias que se combinan en cualquier sonido, realizando lo que se conoce como un análisis de Fourier, de manera que indican el valor de la frecuencia fundamental del sonido y, en algunos casos, de sus armónicos sucesivos.

Para realizar el experimento se sopla en la boca de un tubo de ensayo hasta conseguir producir un sonido mientras se tiene en funcionamiento la aplicación Spectrum Analyzer en el teléfono móvil, que procesa el sonido e indica directamente la frecuencia de su armónico fundamental.

Además de la gráfica de la descomposición del sonido, la app muestra el valor de la frecuencia fundamental en cada momento (Peak) en verde, la frecuencia donde se encuentra el cursor (Cursor) en marrón y la media de las últimas frecuencias fundamentales (Av Peak) en amarillo. De este modo, aunque ya no suene el timbre a analizar, se mantiene en pantalla la medida que nos interesa. Si este valor no se muestra en la pantalla, se ha ir a las opciones y poner en funcionamiento (en on) el apartado Averaging.



Para resetear los valores se debe pulsar en el 0 recuadrado abajo a la derecha en la pantalla (ver la imagen anterior).

Con el valor de la frecuencia fundamental ya sólo necesitamos medir la longitud del tubo de ensayo con una regla milimetrada. Se debe medir desde la base del tubo (por fuera) hasta la boca. Cuando se forma la onda sonora dentro del tubo, de hecho, sale un poco de su boca, 0,6 veces el radio, pero como el culo de los tubos de ensayo es semiesférico y tiene un cierto espesor, si se mide como indico ya se está añadiendo el suplemento.

Velocidad del sonido en algunos medios

Aire	343 m/s
Latón	3530 m/s
Cobre	3900 m/s
Aluminio	5000 m/s
Acero	5170 m/s
a 20°, y los metales en forma de varilla	

La velocidad del sonido en el interior del tubo se calcula directamente multiplicando la frecuencia obtenida por la longitud de onda del tono fundamental que se puede producir en el interior de un tubo abierto por un extremo, que es cuatro veces su longitud (Franco, 2015b):

$$V_{\text{sonido (aire)}} = f \times \lambda = f \times 4L$$

Si se dispone de una varilla metálica y se frota a lo largo de su longitud con los dedos impregnados en un poco de resina para violines se puede conseguir que vibre longitudinalmente y emita un sonido corresponden a la frecuencia a la que vibra. Si se sujeta la varilla con los dedos a un cuarto de su longitud y se frota, la frecuencia alcanzada corresponde a una longitud de onda. Por lo tanto:

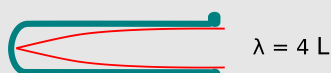
$$V_{\text{sonido (metal)}} = f \times \lambda = f \times L$$

Observaciones

* Las ondas sonoras son longitudinales (son ondas de presión) a pesar de que su representación en las ilustraciones se visualice muchas veces con dibujos transversales, como he hecho en los siguientes para ver mejor las dimensiones de las ondas formadas.

Modos de vibración de las ondas sonoras estacionarias (longitudinales) en el aire de tubos abiertos por un extremo

Longitud del tubo = L



$$\lambda = 4L$$



$$\lambda = 4/3 L$$



$$\lambda = 4/5 L$$



Una longitud de onda = λ

* En el caso del tubo abierto por un extremo, cuando se forman ondas estacionarias en su interior siempre en el extremo cerrado se forma un nodo y en el abierto un vientre, por lo tanto la onda mínima que se puede formar (primer armónico, frecuencia fundamental) corresponde a un cuarto de onda, y su longitud de onda, λ , será igual a cuatro veces la longitud del tubo (de hecho poco más, como ya he indicado). El segundo armónico se forma cuando encaja tres cuartos de onda en el tubo, en el tercer armónico debe ser una onda entera y un cuarto, y así sucesivamente.

* En las varillas metálicas el punto por donde las cogemos se convierten en un nodo y en los extremos estarán los vientres. Si se sujetan a un cuarto de un extremo se formará una onda entera, como se puede ver en la tercera varilla del dibujo de la derecha.

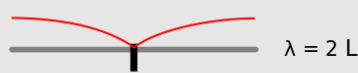
Si se sujeta la varilla por su centro, al hacerla vibrar produciendo un tono, su armónico fundamental

tendrá un nodo en el centro y dos vientres en los extremos, es decir, en la varilla entrará sólo media longitud de onda. El segundo armónico corresponde a una y media longitudes de onda en la longitud de la varilla.

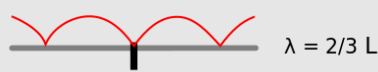
* Con el fin de hacer vibrar longitudinalmente las varillas metálicas deben sujetarse por el punto que interese y frotarlas arrastrando los dedos impregnados con resina a lo largo de la varilla, a la que también se habrá untado. Para aplicar la resina mejor se moja un trapo con un poco de alcohol y se frota en la colofonia. Con ese trapo impregnado de resina se frota la varilla.

Modos de vibración de las ondas sonoras estacionarias (longitudinales) en varillas sólidas sujetadas por un punto

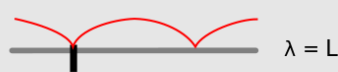
Longitud de la varilla = L



$$\lambda = 2L$$



$$\lambda = 2/3 L$$



$$\lambda = L$$



Una longitud de onda = λ

* La velocidad del sonido que se obtiene para el aire en un tubo de ensayo variará en función de la temperatura y la humedad del propio aire dentro del tubo. Como hacemos sonar el tubo con nuestro aliento siempre tendrá más humedad y temperatura que el aire circundante.

El efecto de la humedad (%) y la temperatura del aire (°C) en la velocidad del sonido (m/s).

	Temperatura (°C)						
Humedad (%)	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30
0	312,8	319,2	325,4	331,5	337,5	343,4	349,3
15	-	-	325,4	331,5	337,5	343,4	349,4
30	-	-	325,4	331,5	337,5	343,6	349,8
45	-	-	325,4	331,5	337,6	343,9	350,3
60	-	-	325,4	331,5	337,8	344,1	350,7
75	-	-	325,4	331,6	337,9	344,4	351,1
90	-	-	325,4	331,6	338,0	344,6	351,1

23 Otras maneras de medir la velocidad del sonido con tubos

Los experimentos para calcular la velocidad del sonido en el aire se pueden hacer al revés. En lugar de producir el sonido en el tubo y medir su frecuencia, se puede producir una frecuencia y estudiar en qué condiciones resuena el tubo. Explicaré dos casos: el tubo parcialmente introducido en agua y el tubo de Kundt.

Aplicación y materiales a utilizar

Hay decenas de aplicaciones que permiten generar un tono de una frecuencia determinada. Se puede utilizar cualquiera de ellas, pero una que me gusta mucho es la aplicación **Function Generator** que permite generar tonos de la frecuencia que interese, bien introduciendo numéricamente el valor o moviendo un cursor a derecha o izquierda para aumentar o disminuir la última frecuencia.

Function Generator



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuw.functiongenerator>

Para encontrar los diferentes armónicos que pueden sonar en un tubo es muy útil la aplicación **Advanced Spectrum Analyzer PRO** que, con la opción del menú Enable Peak Hold, retiene el último análisis de fourier realizado donde se pueden leer los valores de los sucesivos picos.

Advanced Spectrum Analyzer PRO



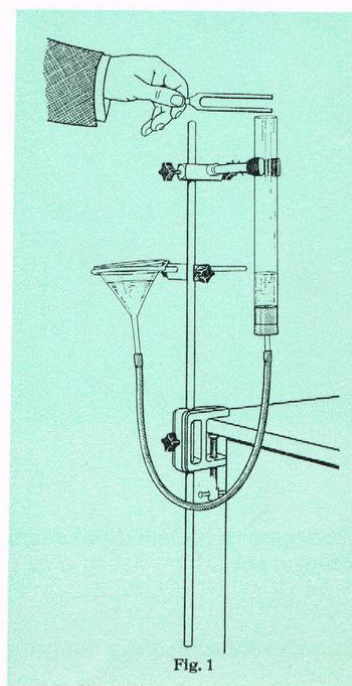
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vuche.asap>

Para el primer experimento se necesita un metro y una botella de plástico de litro o litro y medio cortada por la parte de arriba, que se hará servir de recipiente de agua. También se ha de conseguir un par de trozos de tubo de plástico de unos 4 cm de diámetro y de unos 30 y 50 cm de largo.

Para el segundo se necesita un tubo de cartón grande, como uno de los que se usan para guardar posters.

El caso del tubo parcialmente introducido en agua

Es un experimento que tradicionalmente se realizaba en los laboratorios de física utilizando un diapasón, preferiblemente de una frecuencia más elevada (1000 Hz) que las que iban en los equipos ENOSA, que eran de 440 Hz, y un tubo grueso de vidrio o plástico conectado por la base a un embudo grande.

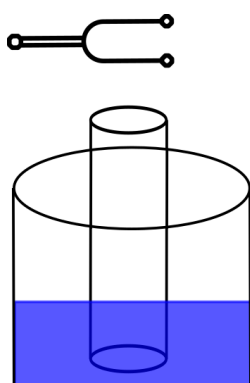


ENOSA, 1968. Ondas Mecánicas y vibraciones

Se llena el tubo con agua hasta una altura en la boca del tubo de 20 a 30 cm. Se golpea el diapasón

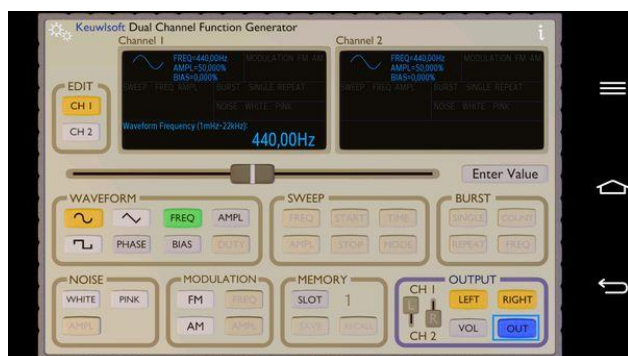
y se pone en la boca del tubo. Se levanta o baja el embudo para subir o bajar la altura del agua en el tubo por efecto de los vasos comunicantes hasta que en un momento dado el tubo resuena con la frecuencia del diapasón o uno de sus armónicos. Se mide la altura del tubo libre de agua y se pasa a hacer los cálculos.

A mí me gusta más la alternativa de introducir tubos de plástico de unos 4 cm de diámetro (de tubería, por ejemplo) y de diferentes longitudes en una botella de plástico transparente de un litro o litro y medio cortada por la boca y llena de agua.



El tubo se baja o sube hasta que resuena y en este momento se mide la altura del tubo que sobresale del agua.

En estos momentos, sin embargo, no necesitamos diapasón. Con un teléfono y la app correspondiente podemos producir el tono de la frecuencia que queramos y no es necesario mover nada. Basta con mantener el tubo sumergido en el agua y, con el altavoz del teléfono o tableta a su boca, hacer variar la frecuencia hasta que el tubo resuene. No necesariamente será la frecuencia fundamental, así que ahora se tendrá que subir o bajar el tubo para encontrar las otras alturas a las que también resuena.



Para el barrido de frecuencias se deben marcar los botones que aparecen remarcados en la imagen anterior de la app Function Generator y arrastrar con el dedo el cursor a derecha o izquierda para subir o bajar la frecuencia del tono emitido. Cuando más se desplace el cursor más rápidamente cambiará el valor.

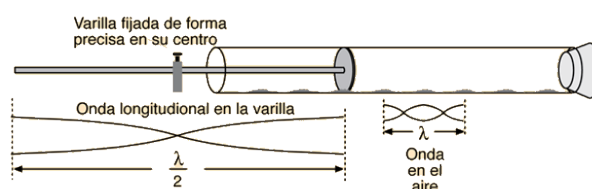
Sea como sea, si hemos conseguido hacer resonar el tubo con el armónico fundamental, calcularemos la velocidad del sonido en el tubo como se hace en el experimento con el tubo de ensayo: la velocidad del sonido será igual al producto de la frecuencia por cuatro veces la altura del tubo sin agua (Franco, 2015b).

$$V_{\text{so (aire)}} = f \times \lambda = f \times 4L$$

Para hacerse una idea de las longitudes libres del tubo para que resuene debemos considerar que con una frecuencia de 500 Hz el primer armónico aparecerá en una altura del nivel de agua sobre la boca de menos de 17 cm y si la frecuencia es de 1000 Hz la profundidad del tubo hueco será de menos de 9 cm.

El caso del tubo de Kundt revisado

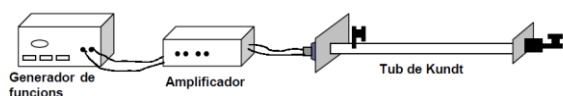
Los experimentos relacionados con el tubo de Kundt también han sido tradicionales en los laboratorios escolares ya que permite medir la velocidad del sonido en diferentes gases (por ejemplo en butano) pero necesitaba un utillaje más sofisticado que solo un diapasón: o bien se disponía de un tubo de Kundt clásico (ver la explicación de su funcionamiento en Franco, 2015c) o un tubo transparente de vidrio o plástico más un generador de funciones con un amplificador y un altavoz (CDEC, 2004).



Tubo de Kundt clásico en Hyperphysics (Nave y Olmo, 2010)

En estos momentos, sin embargo, es posible realizar el experimento propuesto por CDEC reemplazando el generador de funciones por un teléfono o tableta, y el amplificador y altavoz por un

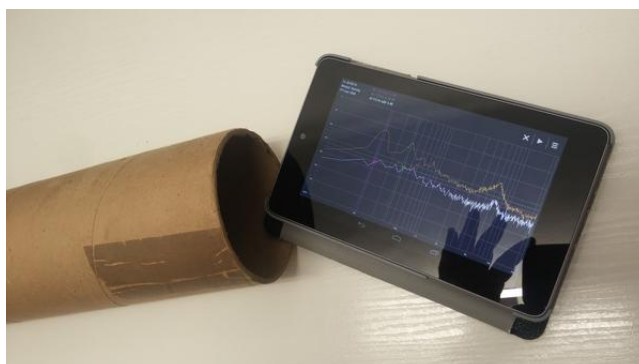
altavoz de ordenador (por ejemplo un altavoz bluetooth). Ahora lo más difícil de conseguir será el tubo y el serrín de corcho ;-)



Montaje del protocolo del CDEC

La aplicación a usar el móvil será cualquiera de las que se utilizan para producir sonidos de la frecuencia deseada, como Function Generator, por ejemplo.

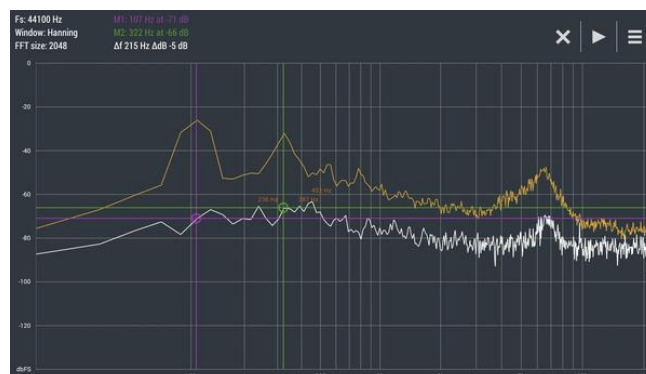
Pero lo que propongo en esta segunda parte es un experimento aún más casero, pero no por ello menos riguroso: medir la velocidad del sonido en un tubo de cartón tapado por un extremo, que nos hará el papel del tubo de Kundt. Servirá cualquier tubo pero cuando más grande sea mejor, ya que oiremos los sonidos más altos cuando resuene. Un tubo de aquellos en los que envían pósters por correo es ideal.



También necesitaremos una aplicación en el móvil o tableta que sea capaz de dar los valores de los diferentes armónicos que se forman en el tubo cuando producimos un ruido en su interior. La aplicación Advanced Spectrum Analyzer PRO, que hemos presentado al principio es estupenda.

Abriremos la app y le indicaremos que recuerde los análisis de fourier realizados con la opción del menú Enable Peak Hold. Pondremos el teléfono o la tableta con el micrófono en la boca del tubo y le daremos unos golpecitos al tubo para que suene. Luego no hay más que mirar la gráfica que nos suministra el dispositivo móvil y apuntar los valores de los sucesivos picos que corresponden a las frecuencias de los diferentes armónicos que ha sido

capaz de generar el tubo. Debe salir una gráfica como la de abajo.



Para averiguar el valor de los picos más significativos basta pulsar la pantalla y arrastrar con el dedo la línea verde o violeta que aparece hasta las crestas de la línea amarilla, ya que los valores se muestran arriba con el mismo color de la línea correspondiente. La gráfica de la figura se ha obtenido golpeando un tubo de 74 cm de largo y 9,5 cm de diámetro. El valor del primer armónico es de 107 Hz y el del segundo de 322 Hz. Si se hacen los cálculos para encontrar la velocidad del sonido que se genera en un tubo cerrado por un extremo (Franco, 2015b)

$$V_{so} = \lambda \cdot f = 4 (L + R \cdot 0,6) \cdot f = \\ = [4 (74 + 4,75 \cdot 0,6)] \cdot 107 = 330 \text{ m/s}$$

$$V_{so} = \lambda \cdot f = 4/3 (L + R \cdot 0,6) \cdot f = \\ = [4/3 (74 + 4,75 \cdot 0,6)] \cdot 322 = 330 \text{ m/s}$$

Donde λ es la longitud de onda, f la frecuencia, L la longitud del tubo y R su radio.

Observaciones

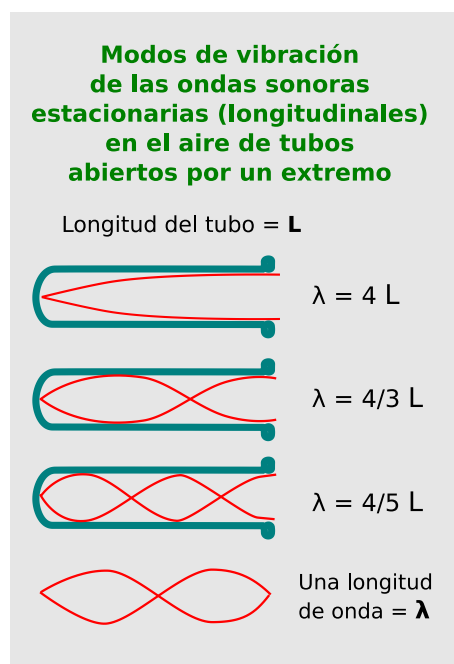
* Los teléfonos y tabletas tienen unos altavoces de poca potencia. Si se quiere que el tubo resuene fuerte y sea más espectacular, se deben utilizar tubos gordos y un altavoz conectado al teléfono (por cable o por bluetooth), que es lo que se pondrá en la boca del tubo.

También es conveniente usar altavoces externos al teléfono porque son capaces de reproducir sonidos de frecuencias bajas mientras que los altavoces de los móviles muchas veces ya no reproducen los tonos por debajo de 150 Hz.

* Tanto los tubos de PVC de 4 cm de diámetro como los de 12 se pueden comprar en tiendas que

venden material para fontanería. Los tubos largos transparentes de plástico (PVC) de unos 4 cm de diámetro se pueden comprar en las ferreterías especializadas buscando tubo rígido de PVC transparente.

* Cuando se pone un altavoz en la boca abierta de un tubo cerrado por el otro extremo, el sonido producido, de una determinada frecuencia, entra en el tubo comprimiendo el aire en su interior y produciendo un tren de ondas que se refleja en llegar al extremo cerrado del tubo con un cambio de fase de 180° . Resulta así, en el interior del tubo, una combinación de ondas incidentes y reflejadas que, para determinadas longitudes del tubo, producen ondas estacionarias, con un nodo en el extremo cerrado y un vientre, o amplitud máxima, algo salido del extremo abierto del tubo. El tubo entra entonces en resonancia y se produce una intensificación considerable del sonido emitido.



Como ya he comentado la posición del primer vientre no coincide exactamente con el extremo abierto del tubo de resonancia, sino que está fuera de él, a una distancia (d) igual a aproximadamente 0.6 veces el radio del tubo. Así, la longitud del tubo por la que se producen las diferentes resonancias viene determinada por la expresión (Franco, 2015b):

$$L_n = \frac{\lambda}{4} (2n - 1) - d, \text{ donde } n = 1, 2, 3, \dots$$

Para evitar el inconveniente del parámetro d en la ecuación de arriba, a la hora de calcular la longitud de onda se puede determinar la longitud del tubo libre para dos resonancias consecutivas L_n y L_{n+1} , y su diferencia corresponderá a media longitud de onda, lo que es independiente de la posición del vientre en la boca del tubo, por lo tanto:

$$\lambda = 2(L_{n+1} - L_n)$$

* En el caso de que tuviéramos un tubo abierto por ambos lados las ondas estacionarias que se forman en el tubo tienen vientres a los dos extremos, por lo que la longitud del tubo para la que se producen las diferentes resonancias viene dado por la ecuación:

$$L_n = \frac{\lambda}{2} n - d \quad \text{donde } n = 1, 2, 3, \dots$$

El parámetro d representa lo que sale la onda estacionaria por los extremos del tubo. Igual que en caso del tubo cerrado, para determinar la longitud de onda se resta la longitud correspondiente a dos resonancias consecutivas.

$$\lambda = 2(L_{n+1} - L_n)$$

* El hecho de que al golpear tubos estos suenen con frecuencias determinadas por su longitud puede utilizarse para distinguir el tubo más largo entre dos, solamente golpeándolos. El tubo más largo produce un sonido más grave que el corto, que el oído es capaz de distinguir aunque la diferencia de longitud sea tan solo de un centímetro.

La misma propiedad hace susceptibles a los tubos para emitir las diferentes notas musicales siempre y cuando se corten a las longitudes adecuadas. Así por ejemplo son tradicionales en Sudamérica las zampoñas o flautas de Pan, instrumentos de viento formados por un conjunto de tubos de caña cerrados por un extremo sobre los que se sopla en su boca para producir los sucesivos tonos de una canción. Producen sonidos aflautados, más graves las cañas largas y más agudos las cortas.

También se utilizan como instrumentos musicales los llamados tubófonos, que no son sino un conjunto de tubos abiertos por las dos bocas que al golpearlos hacen sonar las diferentes notas musicales.

24 Música con copas y botellas

Para poder reunir un conjunto de copas o de botellas que al soplar, frotar o golpearlas emitan las diferentes notas de la escala musical, se ha de medir el tono fundamental que emiten. En este experimento se tratan estos aspectos.

Aplicación y materiales a utilizar

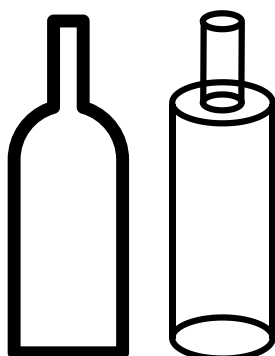
Para encontrar las frecuencias fundamentales de los sonidos se puede volver a usar la aplicación **Advanced Spectrum Analyzer PRO** que, con la opción del menú Enable Peak Hold, retiene el último análisis de fourier realizado donde se puede leer con comodidad el valor.

Advanced Spectrum Analyzer PRO



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vuche.asap>

Se han de usar copas de agua o de vino de vidrio fino. Las botellas pueden ser las de clásicas de vino de tres cuartos de litro con el cuerpo cilíndrico y el cuello recto, de forma que se parezcan lo más posible a un tubo pequeño abierto por los dos extremos unido a otro cerrado por el extremo opuesto a la unión.



Una regla y una probeta ayudan a medir las dimensiones de las botellas, así como el volumen de agua introducida y el volumen de aire que queda libre.

El sonido de las copas

Si se dispone de una serie de copas de cristal y se llenan con diferentes cantidades de agua al golpearlas o al frotar su borde con un dedo se producirá un sonido que depende de la forma de la copa y de la cantidad de agua que contenga.



Para conseguir un tono determinado se ha de ir añadiendo agua poco a poco y haciendo vibrar la copa hasta que la aplicación Advanced Spectrum Analyzer PRO indique el valor que nos interese.

Tanto cuando se golpea cuando se frota la copa la frecuencia va disminuyendo conforme hay más cantidad de agua, o lo que es lo mismo, menos volumen de aire en la copa, ya que lo que ocurre es que vibra toda la copa y el agua contenida. Por ejemplo, añadiendo sucesivamente 40 ml a una copa la frecuencia de vibración puede pasar de 1012 Hz a 990 Hz y después a 968 Hz.

El sonido de las botellas

Para conseguir sacar música de las botellas de vidrio se puede hacer llenándolas con diferentes volúmenes de agua y a continuación golpeando o soplando en su boca. Cada botella cantora constituye lo que se denomina un **resonador de Helmholtz** (Franco, 2015d).

La frecuencia del sonido que se produce en una botella cuando se sopla viene determinada por la ecuación:

$$f = \frac{v_{\text{sonido}}}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{LV}}$$

Donde, f es la frecuencia, v_{sonido} la velocidad del sonido en el aire, S es el área de la sección del cuello de la botella, L es la longitud del cuello y V es el volumen de aire en la botella.

La longitud efectiva del cuello de la botella es difícil de precisar ya que la transición del cuerpo de la botella cuello es progresiva. Utilizando como longitud la parte recta del cuello (radio 1,0 cm, longitud 7,0 cm) me han salido los siguientes valores teóricos y reales, que se acercan bastante entre sí.

Ejemplo de botella de vino como resonador de Helmholtz			
Volumen de aire	750 cm ³	550 cm ³	350 cm ³
Frecuencia teórica	132 Hz	154 Hz	194 Hz
Frecuencia medida	129 Hz	150 Hz	172 Hz

Para conseguir los valores de las frecuencias fundamentales que se producen al soplar en el cuello de la botella no hay más que abrir la aplicación Advanced Spectrum Analyzer PRO y anotar para cada uno de los volúmenes de aire en la botella el valor del primer pico que aparece.

Cuando se golpea una botella la frecuencia va disminuyendo conforme hay más cantidad de agua, o lo que es lo mismo, menos volumen de aire, ya que en este caso lo que ocurre es que vibra toda la botella y el agua contenida, a diferencia de cuando se sopla ya que entonces lo que vibra es el aire.

Observaciones

* Para hacer resonar las copas de vino o de agua se ha de ir moviendo el dedo por la circunferencia superior. Resuenan más fácilmente si se moja el dedo con agua, o mejor aún con una mezcla de agua y un poco de jabón de lavar platos.

* Para hacer resonar las botellas se han de colocar en vertical debajo de boca y soplar hacia abajo. Para conseguir que suenen bien se necesita un cierto entrenamiento.

* Si se desea hacer un poco de música con las botellas se han de llenar con distintas cantidades de agua, que vendrán determinadas, como se ha visto, por la geometría de la misma y la frecuencia que se desee obtener al soplar. En la tabla siguiente aparecen las frecuencias correspondientes a la escala musical para una botella.

Frecuencia en hercios de las notas musicales que se pueden obtener con una botella de vino						
do	re	mi	fa	sol	la	si
130,8	146,8	164,8	174,6	196,0	220,0	246,9

25 Niveles de audición de los jóvenes frente a los mayores

La audiometría es una de las pruebas médicas que se realizan para poder conseguir el carnet de conducir. En esta experiencia se realizan audiometrías caseras y se intenta comprobar cómo se va perdiendo audición con la edad, sobre todo en los sonidos más agudos.

Aplicación y materiales a utilizar

Solamente se necesita la aplicación **Funtion Generator** y la colaboración de un conjunto de personas de diferentes edades.

Funtion Generator

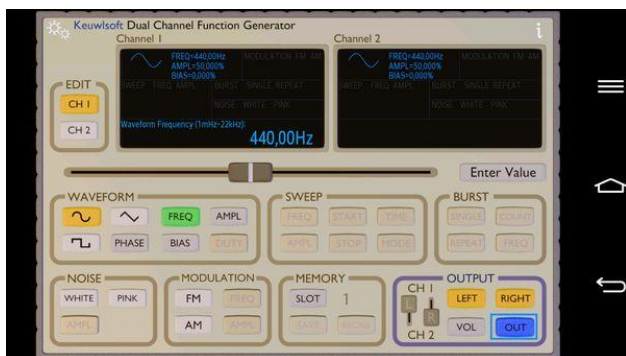


<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.k.euwl.functiongenerator>

Realización

La experiencia consiste en hacer una audiometría cualitativa no médica para comprobar:

- La frecuencia mínima y máxima que cada uno es capaz de oír.
- Que los sonidos agudos son los primeros que dejan de oír las personas mayores.
- Que, para una misma intensidad, los sonidos agudos se oyen (cuando se oyen) más fuertes que los graves, es decir, que el oído humano sano es más sensible a los sonidos agudos.



Para realizar la audiometría se abre la aplicación Funtion Generator y se oprime el botón onda sinusoidal y frecuencia en el recuadro Waveform, y el botón left y out en el recuadro Output. Empezará a sonar la frecuencia de 440 Hz, por defecto.

Se sube o baja el volumen hasta que la primera persona analizada considere que oye perfectamente la frecuencia a una distancia de un metro aproximadamente. Se anota el nivel de volumen y la distancia para realizar siempre la experiencia en las mismas condiciones.

Ahora se pulsa sobre el deslizador de la pantalla y se va moviendo con el dedo para cambiar la frecuencia de salida del altavoz, primero hacia la izquierda hasta que la persona deje de oír los sonidos graves y luego hacia la derecha hasta que deje de oír los sonidos agudos,

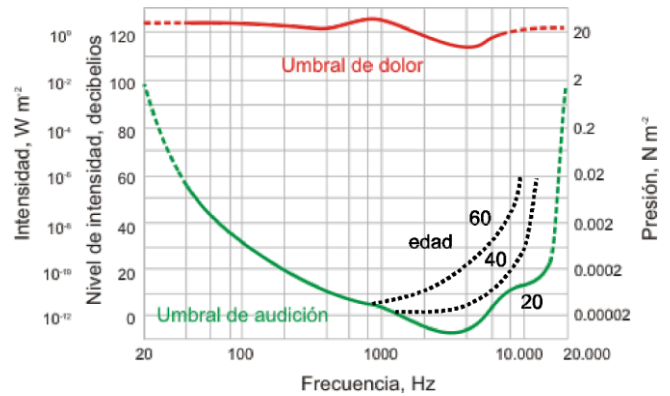
La actividad podría consistir en que los alumnos realicen los tres experimentos indicados arriba, con ellos mismos y con sus abuelos, y vuelvan a clase con los datos obtenidos, donde se haría el análisis estadístico correspondiente.

Observaciones

* Seguro que cada teléfono que se utilice, en función de cómo esté hecho y/o calibrado, dará un nivel de intensidad sonora diferente, aunque todos estén al mismo nivel de potencia. Sería conveniente, antes de realizar la experiencia en casa, calibrar la potencia de salida en la escuela poniendo los móviles a un metro de distancia de otro teléfono y que, subiendo o bajando el volumen de voz, este último midiera los mismos dB en todos los casos, por ejemplo para una frecuencia de 1000 Hz. Al llegar a casa, el experimento debería hacerse poniendo el móvil a un metro de distancia de la oreja de la persona analizada.

También hay que tener en cuenta que muchos teléfonos móviles no son capaces de emitir frecuencias o muy bajas o muy altas, por ejemplo por debajo de 200 Hz, lo que hay que comprobar a la vez que se calibra el volumen.

* En cuanto a los posibles resultados, en la gráfica de al lado se ven los valores de los niveles de intensidad para el umbral de audición de las diferentes frecuencias emitidas, y como la línea verde que corresponde al umbral de audición de la juventud se modifica a partir de los 1000 Hz para las personas de más edad (40 y 60 años).



Derivado de Marianela Zapata (cc3 musiki 2016)

26 Interferencias sonoras

Cuando dos ondas sonoras coinciden en un punto se interfieren entre ellas dando lugar a que se amplifique o se amortigüe el nivel de intensidad sonora, es decir que se produzcan interferencias constructivas o destructivas, y es lo que se propone producir en este punto.

No es un experimento original, ya que se venía realizando en los laboratorios escolares pero con un ordenador equipado con el programa Audacity y dos altavoces (Muñoz y Casillas, 2011).

Aplicación y materiales a utilizar

La mayoría de los generadores de tonos para teléfonos y tabletas sólo emiten en mono, pero la aplicación **Function Generator** es muy interesante porque puede emitir en estéreo con la misma frecuencia en cada uno de los dos canales, lo que precisamente conviene en este experimento.

Function Generator



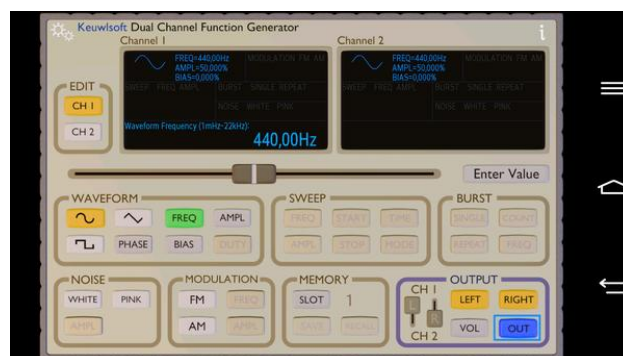
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.functiongenerator>

Se necesitan dos altavoces de ordenador que se puedan separar entre sí como unos dos metros. Una cinta métrica también va bien.

Realización

Se inicia la app Function Generator en una tableta a la que se conectan dos altavoces iguales que estén separados más de 2 metros y encarados a la audiencia, que debe poder moverse por delante de los altavoces. Por defecto la aplicación se inicia con los dos canales por los que puede emitir, marcados a una frecuencia de 440 Hz (La). Más adelante se puede experimentar con otras frecuencias, pero con esta funciona la experiencia bastante bien. Si se quiere que la longitud de onda, λ , de los sonidos sea un metro, la frecuencia debe ser de 340 Hz ($V_{onda} = \lambda \cdot f$)

Para que suenen los dos altavoces a la vez la aplicación debe tener marcados la tecla **FREQ**, los dos canales (**LEFT** y **RIGHT**) en naranja y pulsar la tecla **OUT**.



Se empieza a emitir el sonido por los dos altavoces mientras las personas asistentes se pasean por delante de los altavoces a la vez que se tapan uno de los oídos, para escuchar sólo por el otro. Deberán encontrar puntos en los que oigan el tono más bajo que en otros lugares. Son los puntos en los que la interferencia es destructiva. Se debería medir la distancia de estos puntos a ambos altavoces con la ayuda de un flexómetro.

En el momento en el que los asistentes están situados en lugares en los que oye el sonido más flojo, si se desconecta uno de los canales, deberían oír el tono más fuerte con un solo altavoz.

Observaciones

* Cuando dos o más ondas se encuentran en un punto del espacio interfieren entre sí, de modo que al sumarse sus funciones de onda puede pasar que se potencian sus efectos, que se anulan, o cualquier situación intermedia. En concreto, cuando interfieren dos ondas sonoras de la misma frecuencia y amplitud es posible encontrar puntos en los que se produzca una interferencia totalmente destructiva (silencio) en función de la diferencia de distancias del punto en los lugares donde se producen los sonidos (foco) (Franco, 2015).

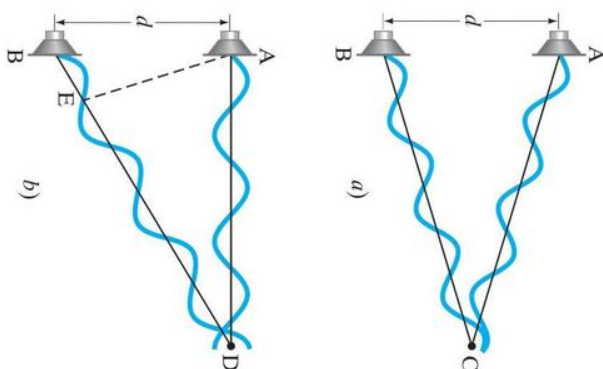
* El oído humano es muy fino y es capaz de notar las pequeñas variaciones de intensidad del sonido que se producen de un lugar a otro en la habitación.

Hay que tener en cuenta que el sonido de los dos altavoces se refleja en las paredes y techo y que las interferencias nunca llegan a ser totalmente destructivas. Para comprobar cuán pequeñas son las diferencias en el nivel de intensidad sonora (dB) en los diferentes puntos de la sala se puede hacer uso de un sonómetro; se comprobará que las diferencias no pasan de unos pocos decibelios (dB).

* Si se han medido las distancias a los focos de los puntos en el que se produce la interferencia destructiva, se puede hacer un estudio cuantitativo y calcular experimentalmente la longitud de onda del sonido, dado que se debe cumplir que la diferencia de distancias sea un múltiplo impar de media longitud de onda.

$$d_1 - d_2 = (2n-1) \lambda/2$$

Una vez calculada la media de las longitudes de onda obtenidas, se puede calcular la frecuencia del sonido y compararla con la que ha emitido el generador de funciones.



Interferencia constructiva en a) y destructiva en b).
(Giancoli, 2008a)

27 Producción y grabación de batidos sonoros

Escuchar batidos sonoros es una de las experiencias más curiosas que se realizan en los laboratorios escolares. Tradicionalmente se producen haciendo vibrar dos diapasones iguales pero habiendo añadido un pequeño peso a uno de los brazos de uno de los dos diapasones, de manera que vibran con frecuencias muy próximas.

Ahora es posible con los dispositivos móviles producir exactamente las frecuencias que se desee y además grabar y visualizar el sonido resultante.

Aplicación y materiales a utilizar

En este experimento vuelve a ser necesaria la aplicación **Function Generator** ya que permite emitir en estéreo con una frecuencia diferente en cada uno de los dos canales. Si no se dispusiera de una aplicación así se necesitarían dos dispositivos móviles para que cada uno de ellos emitiera una frecuencia diferente.

Function Generator



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.functiongenerator>

Los batidos que se produzcan pueden oírse directamente pero, si se quiere visualizar su forma y medir exactamente la frecuencia con la que se producen, hace falta disponer de otro teléfono o tableta con la aplicación **AudioTime+** instalada para que grave los batidos.

Ciencia Móvil - AudioTime+



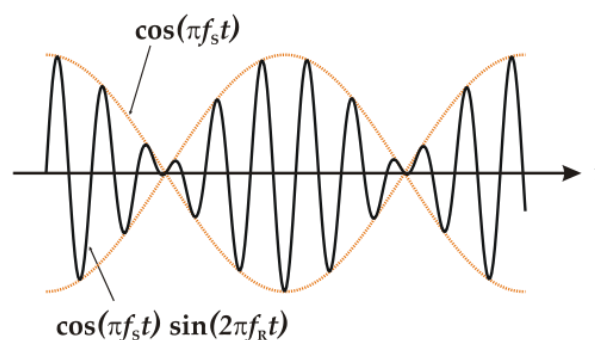
<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.ius.audiotimeplus>

Formación de batidos acústicos

Cuando dos ondas sonoras de la misma amplitud, A , pero que difieren ligeramente en su frecuencia (f_1 y f_2), se encuentran en un punto interfieren dando lugar a una nueva onda que tiene por ecuación de su elongación en función del tiempo (Giancoli, 2008a):

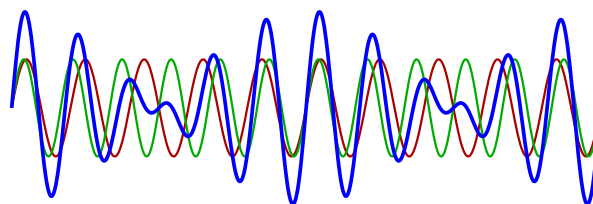
$$\Psi = \left[2A \cos 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t \right] \sin 2\pi \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right) t$$

Esta doble dependencia hace que la onda presente fluctuaciones en su amplitud como se ve en la gráfica siguiente



Beating Frequency, de Ansgar Hellwig (CC BY-SA 3.0) via wikimedia commons

donde $f_s = (f_1 - f_2)$ es la frecuencia del batido. Es decir, cada cierto tiempo (T_s , periodo del batido) las ondas de los dos tonos coinciden en sus máximos, para pasar un periodo después a coincidir un máximo con un mínimo y anularse la onda, como se ve en el dibujo de abajo en el que las ondas verde y roja corresponde a las iniciales, y la onda azul a su composición en un punto dado



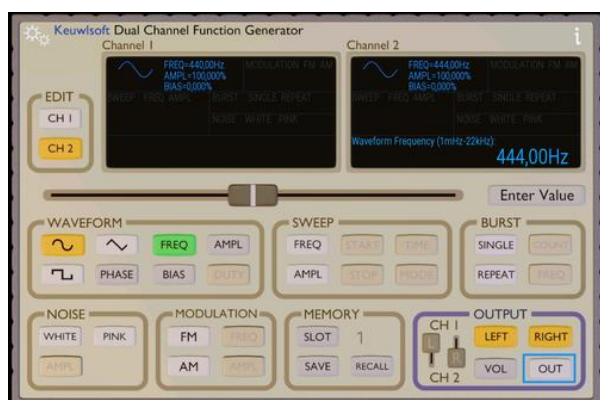
Wave interference (beating), de Awilley (CC BY-SA 3.0) via Wikimedia commons

Por tanto, si se emiten dos sonidos de frecuencias f_1 y f_2 se oír un tono que sube y que baja de intensidad con una frecuencia igual a la

diferencia de frecuencias de las dos ondas que lo producen.

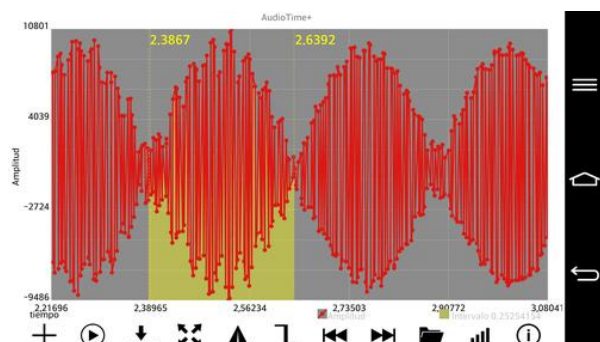
Realización

Se abre en un dispositivo la aplicación Function Generator y pulsando los botones **FREQ** (frecuencia) y **Enter value** se asignan los valores de frecuencia a cada canal que se desee, por ejemplo 440 y 444 Hz. Con las salidas derecha e izquierda marcadas se pulsa en **Out** y se comienza a oír el batido.



Si mientras se oye el batido, se pone en marcha en otro teléfono o tableta la aplicación Audiotime+, y se pulsa el botón más para que empiece a grabar, se verá como en la pantalla aparece la gráfica de la onda sonora.

Si se para la grabación y se amplía, se pueden marcar los tiempos correspondientes a un batido y medir su periodo. En la gráfica siguiente se ve el batido correspondiente a la interferencia de los dos tonos de 440 y 444 Hz y donde se mide un periodo de 0.25 s, correspondiente a una frecuencia de 4 Hz ($444 - 440 = 4$).



Si mientras se oyen los batidos se apaga la salida por los altavoces de uno de los canales, dejan de producirse y se oye solo la frecuencia del otro canal.

Observaciones

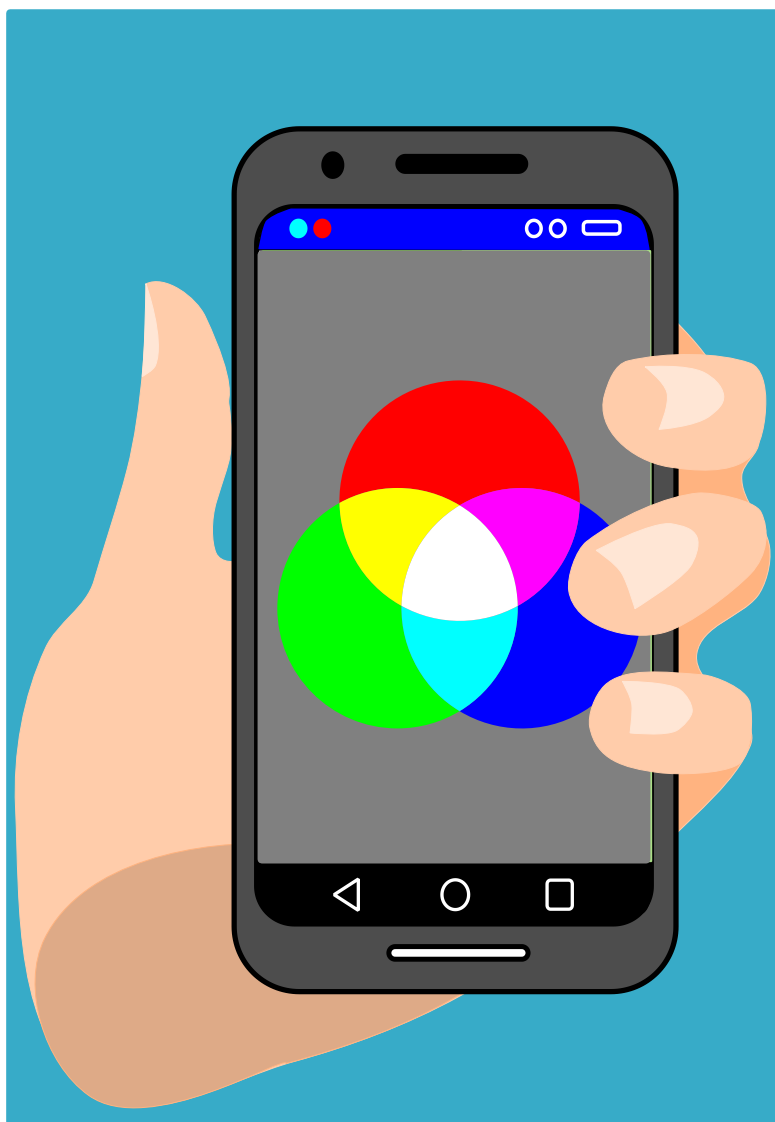
* Aunque las amplitudes de los dos tonos no sean iguales también se oirán los batidos, siempre que su diferencia no sea muy grande.

* Los batidos sonoros se utilizan por ejemplo en la afinación de instrumentos musicales ya que son un método muy simple de comparación de frecuencias. Se puede afinar una cuerda de una guitarra escuchando los batidos que se producen entre la cuerda y el sonido de un diapason patrón y se sabe que está afinada cuando desaparecen las pulsaciones.

También se utilizan en muchos otros casos como es la detección de la velocidad por algunos radares de la policía. El radar envía un ultrasonido que se refleja en el coche al que se quiere medir su velocidad. Como el coche está en movimiento modifica la frecuencia de la onda que refleja debido al efecto Doppler. El radar combina la onda que envía con la que recibe y mide la frecuencia del batido que se produce, que no es sino la diferencia de frecuencias de las ondas.

Los silbatos de muchos entrenadores y árbitros o de los equipamientos de supervivencia suelen emitir dos frecuencias a la vez suficientemente separadas, por ejemplo de 2900 y 3100 Hz, para que, aunque se produzcan, no se aprecie la formación de batidos sonoros, pero que ayudan a que el sonido sea mucho más audible (Nave y Olmo, 2010b).

La luz



28 Midiendo la iluminación con el sensor de luz

Utilizaremos el sensor de luz del teléfono móvil para convertirlo en un fotómetro con el que se puede medir la cantidad de luz de la que se dispone en diferentes dependencias del centro, de casa, etc.

La actividad consiste, pues, en medir los niveles de iluminación en diferentes ambientes de estancia y/o trabajo en casa y en el centro docente y compararlos con los recomendados y los de la normativa.

Aplicaciones y material a utilizar

Es válida cualquier aplicación que mida la iluminación que llegue al sensor de luz del teléfono (las tabletas normalmente no disponen de este sensor). Recomendando una vez más la app **Physics Toolbox Sensor Suite** que incluye un **luxómetro**, que mide la iluminación en luxes (lx).

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.c hrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Realización

Para llevar a cabo las medidas se escogen los lugares que resulten de interés y se coloca el teléfono a la altura de la zona donde se desarrollen las actividades normalmente. Por ejemplo, en las zonas de estudio se medirá en un aula a 70 cm del suelo y a 90 cm en el laboratorio, ya que son las alturas respectivas de las mesas que se utilizan.

En los pasillos la iluminación se medirá a ras de suelo ya que se debe asegurar la visualización de posibles obstáculos o discontinuidades en el mismo suelo.

El sensor de luz no recoge la luz que llega al teléfono en cualquier dirección sino la que incide casi perpendicular, de modo que si se mide en una

habitación la luz natural que entra por una ventana poniendo el móvil horizontal sobre una mesa se obtiene un valor muy por debajo del real ya que medirá la luz que le incide del techo y no la que viene de la ventana. Para obtener la iluminación a la que está sometida la mesa se debe inclinar el teléfono encarando directamente a la fuente de luz.

Así que para realizar esta experiencia hay que dirigirse a las diferentes estancias de la escuela y medir la iluminación que hay, tanto con luz natural como con luz artificial, bajando si es necesario las persianas, trasladando los valores obtenidos a una tabla como la de abajo, que permitirá compararlos con los recomendados.

Estancia	Llumino- sidad de referencia, en luxes (lx)	Llumino- sidad medida, en luxes (lx)	Condi- ciones de la medida
Aulas	350 a 1.000		
Aulas de plástica y técnicas	500 a 1000		
Gimnasios	250 a 500		
Laboratorios	300 a 1.000		
Pizarras	300 a 700		
Salas de conferencias	200 a 1000		
Zonas de paso	150 a 700		
Vestidores, lavabos	50 a 300		
Bibliotecas y salas de estudio	300 a 750		

Para medir la iluminación con el móvil no hay más que abrir la aplicación Physics ToolBox y seleccionar **Sensor de luz**, que nos muestra la medida directamente, aunque bailando su valor. Se escoge el valor que parezca más centrado o bien se graban los valores de un intervalo corto de tiempo y después se realiza la media. Creo, sin embargo, que no hay que preocuparse demasiado por los errores en las medidas ya que en general los valores que se obtienen con los sensores de los

teléfonos se desvían de los que se obtendrían con un fotómetro profesional calibrado.

Parece ser que los iPhones señalan valores por debajo y el resto de móviles por encima de los que daría un fotómetro. Si no se dispone de un fotómetro profesional para calibrar el teléfono, siempre se pueden hacer las medidas con los dos tipos de móviles y hacer la media de los resultados.

Por último, con los datos obtenidos se puede elaborar un informe con propuestas de actuación sobre la iluminación del centro.

Observaciones

* Hablo de iluminación y no luminosidad ya que son dos magnitudes diferentes. La iluminación es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en lux ($1 \text{ lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$). La luminosidad o brillo es la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente de luz por unidad de ángulo sólido. Se mide en candelas (cd).

* La irradiancia es la potencia incidente de todo tipo de radiación electromagnética por unidad de superficie (Se mide en W/m^2), mientras que la iluminación mide la potencia luminosa percibida y depende de la frecuencia de la radiación, por lo que es máxima a 550 nm, donde 1 lux equivale a $1,46 \text{ mW/m}^2$.

* La iluminación en el lugar de trabajo se rige por la normativa sobre niveles mínimos de iluminación en los lugares de trabajo, que es bastante genérica. Se puede consultar la guía *Iluminación en el puesto de trabajo* (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2015).

En resumen la normativa sólo dice que según la exigencia de la zona donde se ejecuten las tareas la iluminación mínima debe ser de.

- 1º. Exigencias visuales bajas 100 lux
- 2º. Exigencias visuales moderadas 200 lux
- 3º. Exigencias visuales altas 500 lux
- 4º. Exigencias visuales muy altas 1.000 lux

Los valores de iluminación en diversas estancias que aparecen como recomendables en la tabla anterior los he obtenido de diversas fuentes, como por ejemplo de la *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros Docentes* elaborada por el Comité Español de Iluminación (CEI) (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2001), que es de lectura recomendable, aunque al ser de 2001 no contempla la iluminación con leds.

En cuanto a los niveles de iluminación al aire libre son del orden de:

Día	Día nublado	1000 lx
	Primera y última hora del día	400 lx
	Mediodía	130000 lx
Noche	Noche sin Luna	0,002 lx
	Calle iluminada de noche	300 lx
	Luna llena	0,3 lx

* Intentar medir los valores de la tabla de arriba con el sensor del móvil implica que, sin luz artificial, la aplicación que se use suministrará por la noche siempre el valor cero. En el caso de la luz en la calle durante las horas solares, a menudo no es posible medir la iluminación directa del Sol ya que a partir de un valor determinado (10.000 lx, en el caso de muchos teléfonos) el sensor se satura y se mantiene en este dato, muy alejado de la iluminación que proporciona la luz del Sol directa, más de 10 veces mayor.

29 Intensidad de la luz y distancia

Se trata de mostrar con la ayuda del sensor de luz del teléfono móvil si se cumple la ley del inverso del cuadrado de la distancia (un aspecto de la ley de Lambert) en el caso de diferentes focos de luz.

Aplicaciones y material a utilizar

Como fotómetro se utilizará el apartado Sensor de luz de la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite**.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.c hrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Se necesitan diferentes focos de luz, como pueden ser: una linterna, el led de otro teléfono móvil, una bombilla incandescente, etc., que tengan un emisor de luz pequeño o con geometría esférica. También se utilizará una regla o una cinta métrica.

Realización

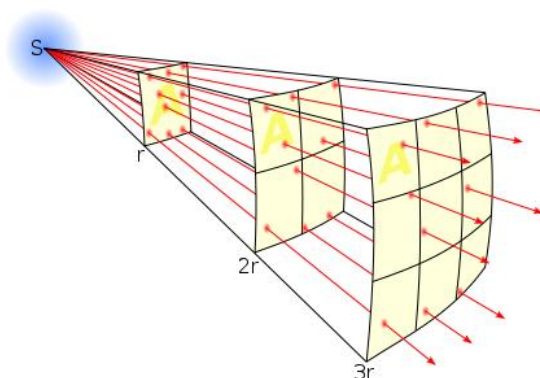
Se debe medir la iluminación que produce un foco de luz a diferentes distancias. Para ello se enciende la luz y se pone el teléfono de modo que la luz incida perpendicularmente en el sensor.

Se pone en marcha la app Physics ToolBox en su especialidad Sensor de luz y se toman valores a diferentes distancias con la ayuda de la cinta métrica.

En función de la intensidad de la fuente de luz y del máximo que sea capaz de medir el teléfono se deberá empezar a tomar medidas a una distancia de la fuente más o menos grande. En todo caso, como la ley de Lambert hace referencia a una fuente de luz puntual, la distancia mínima debería ser como mínimo tres veces su diámetro. Por ejemplo, si es una bombilla incandescente: $6,5 \times 3 = 19,5$ cm.

Observaciones

* Cuando un foco de luz puntual emite luz en todas las direcciones en un medio homogéneo (al aire, por ejemplo) la energía emitida se distribuye a la misma velocidad por todas partes, de manera que el frente de la onda luminosa es esférico. A una distancia r del foco la energía se repartirá en una esfera de radio r y superficie $S_r = 4\pi r^2$, y a una distancia $2r$ la superficie será $S_{2r} = 16\pi r^2$, por lo que la intensidad de la luz irá disminuyendo con el cuadrado de la distancia a la fuente (Franco, 2015e).

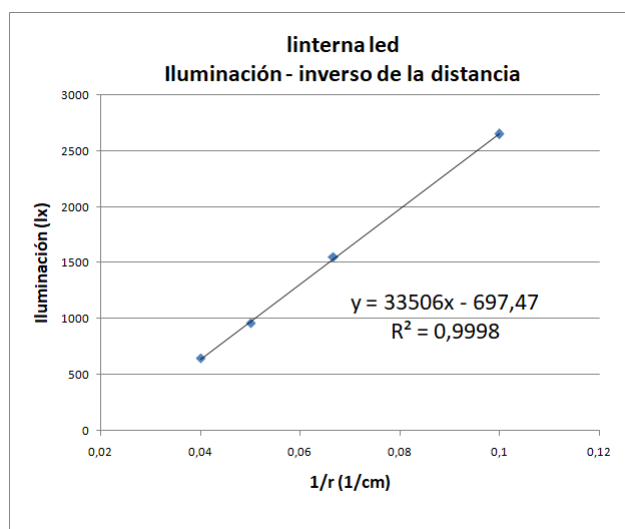


Inverse square law, de Borb en Wikimedia commons (CC BY-SA 3.0)

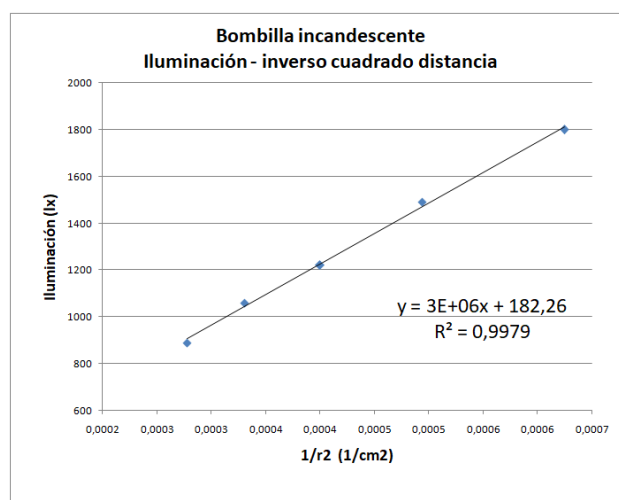
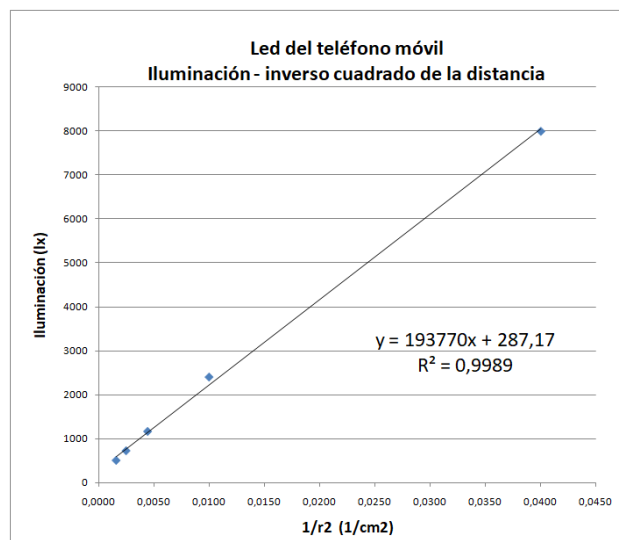
Iluminación – Distancia al fotómetro de la fuente de luz				
Distancia (cm)	$1/d^2$	Linterna led (lx)	Led móvil (lx)	Bombilla incandescente (lx)
5	0,0400		8000	
10	0,0100	2650	2400	
15	0,0044	1550	1160	
20	0,0025	960	720	
25	0,0016	650	500	
30	0,0011			
35	0,0008			
40	0,0006			1800
45	0,0004			1490
50	0,0003			1220
55	0,0002			1060
60	0,0001			890

* Si el foco de luz no es puntual y/o la luz no se extiende por igual en todas las direcciones deberemos encontrar desviaciones a este comportamiento teórico. Sin intención de afinar demasiado, he realizado algunas medidas en el aire con tres fuentes de luz que se muestran en la tabla anterior: una linterna con un único led encajado en un espejo cóncavo, el led del flash de un teléfono móvil y una bombilla incandescente tradicional de 60 W.

En el caso de la linterna, aunque se podría considerar puntual la fuente de luz, no se puede decir que su energía se esparcirá libremente en todas direcciones sino que su luz está expresamente focalizada (como en todas las linternas) para alumbrar mejor en una determinada dirección. Así cuando se analizan los datos se obtiene una relación que se ajusta bastante bien a la inversa de la distancia y muy mal al inverso de la distancia al cuadrado.



Cuando los que analizamos son los datos del led del móvil y de la bombilla incandescente sí que vemos que se ajustan bastante mejor a la ley que se pretende mostrar, pero no del todo ya que en ambos casos la relación potencial que se obtiene es de del orden de $r^{-1,73}$ y no de r^{-2} .




Se puede repetir el experimento y hacerlo más cuidadosamente o se puede utilizar otro móvil para medir la iluminación, pero el caso es que los profesores brasileños Vieira, Lara y Amaral muestran en el artículo *Demonstração da lei do inverso do quadrado como o auxílio de um tablet/smartphone* que la luz del led de su móvil se ajustaba perfectamente a la ley del inverso del cuadrado de la distancia (Vieira y otros, 2014).

30 Transmisión de la luz a través de filtros y la composición de diferentes tipos de luz

Los diferentes tipos de luz blanca tienen una composición diferente, un diferente espectro, por lo que emiten con más intensidad en unos colores que en otros. Con filtros de colores y el teléfono móvil se puede estudiar la mayor o menor participación de los diferentes colores en la composición de la luz.

Aplicaciones y material a utilizar

Se utilizará el apartado Sensor de luz de la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite**.

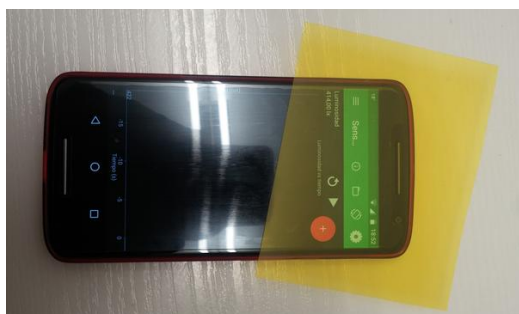
Physics Toolbox Sensor Suite	
	
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419	

También se necesitan filtros de colores. Pueden ser trocitos de plástico de colores obtenidos de los separadores de las libretas escolares.

Las lámparas que se vayan a analizar deben iluminar aparentemente con luz blanca. Pueden servir una linterna led, una bombilla fluorescente y otra incandescente.

Realización

Se deben conseguir filtros de diferentes colores, por ejemplo de color rojo, amarillo, verde y azul, recortando separadores de plástico de las carpetas escolares y medir la Iluminación que proporcionen diferentes tipos de lámparas con y sin filtro.



La medida de la Iluminación la realizaremos con el sensor de luz del teléfono sobre el que pondremos, o no, el filtro correspondiente. Se debe tener cuidado de que la distancia entre la fuente de luz y el móvil sea siempre la misma para que los resultados sean comparables para cada color.

En la tabla de abajo se reflejan datos que he obtenido con tres tipos de lámparas: una linterna de led blanco, un fluorescente de techo y una bombilla incandescente tradicional. Como se ve, el porcentaje de iluminación que se pierde en cada luz es diferente para un color determinado, lo que nos indica la mayor o menor participación de este color en la luz blanca que emite cada lámpara. Por ejemplo las frecuencias correspondientes al color rojo son predominantes en la luz de la bombilla incandescente, mientras que en la luz led son mucho más minoritarias.

Absorción por filtros de la luz emitida por diferentes tipos de lámpara

Filtro	Linterna	Transmisión %	Fluorescente	Transmisión %	Bombilla incandescente	Transmisión %
Rojo	950-120	13	430-95	22	2400-1250	52
Amarillo	950-490	52	430-280	65	2400-1800	75
Verde	950-230	24	430-115	27	2400-420	18
Azul	950-620	65	430-230	54	2400-1200	50

Del par de valores de cada foco de luz, el primero corresponde a la iluminación que da sin filtro y el segundo con el filtro que se indica, en lx

Observaciones

* Se puede combinar el estudio de la transmisión de la luz para filtros con la fotografía de los espectros de las luces correspondientes. En este caso el filtro se ha de colocar entre la luz y el espectroscopio, que se ha de usar como se indica en el experimento 35, *Espectroscopia cualitativa y cuantitativa*.

31 Polarización de la luz

Con la ayuda de un filtro polarizador acoplado al sensor de luz o a la cámara de un teléfono se pueden fotografiar las tensiones estructurales en objetos transparentes y estudiar la cantidad de luz polarizada que es capaz de atravesar un filtro polarizador en función del ángulo con la que incida, para comparar los resultados con la ley de Malus.

Estos experimentos son estupendos para mostrar la naturaleza transversal de las ondas electromagnéticas y la conexión entre la óptica y el electromagnetismo.

Aplicaciones y material a utilizar

La aplicación **Physics ToolBox Sensor Suite** permite obtener datos simultáneamente de varios sensores de los dispositivos móviles. En este caso se utilizará la orientación y el sensor de luz del **Reporte múltiple**.

Physics Toolbox Sensor Suite



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es> 419

Para fotografiar las tensiones estructurales se usa la aplicación que venga por defecto en el teléfono.

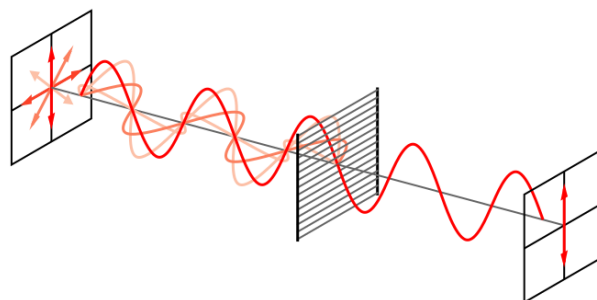
Se necesita un filtro polarizador que se puede obtener de unas gafas de cartón de las utilizadas para ver películas en 3D proyectadas con luz polarizada, que son muy baratas. También se utilizarán láminas de plástico a las que se adhieren tiras de cinta adhesiva (cello) y reglas u otros objetos de plástico transparente.

Para la producción de luz polarizada se utiliza la pantalla de un ordenador ya que habitualmente son de cristales líquidos y contienen un polarizador.

Realización

La luz es una onda en la que inicialmente los campos electromagnéticos vibran transversalmente en todas las direcciones. Los polarizadores están hechos de un material que transmite selectivamente en una determinada dirección de oscilación del campo eléctrico de la onda electromagnética como

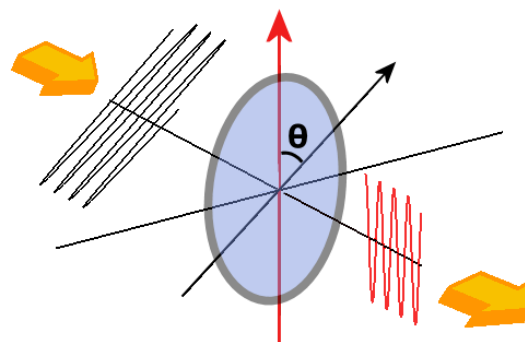
la luz. Cuando un haz de luz no polarizada atraviesa este material, la luz transmitida queda polarizada.



Esquema de funcionamiento de un polarizador por absorción selectiva, por Bob Mellish (CC BY-SA 3.0)

Ley de Malus

Una vez que se dispone de un haz de luz polarizada un segundo polarizador puede disminuir la intensidad luminosa del haz de luz que lo atraviese e incluso bloquear su paso. La magnitud de esta reducción depende de la inclinación respectiva entre el plano de polarización del haz de luz y el plano polarizador del filtro polarizador.



Ley de Malus, por Ffred (CC, dominio público)

Como se aprecia en el polarizador de las fotografías siguientes, conforme aumenta el ángulo, la intensidad de la luz transmitida va disminuyendo. La relación cuantitativa de este fenómeno se denomina ley de Malus:

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \theta$$

Donde

I es la intensidad de la luz polarizada después de haber atravesado el filtro polarizador.

I_0 es la intensidad de la luz polarizada antes de haber atravesado el filtro polarizador.

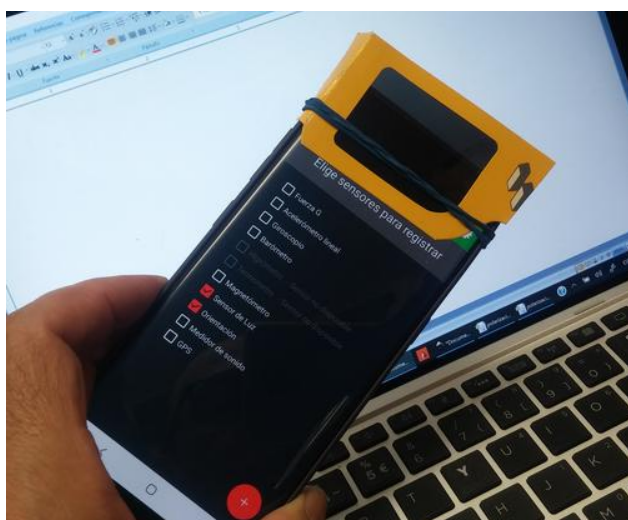
θ es el ángulo entre las direcciones de polarización de la luz antes y después de atravesar el polarizador.



Diferentes ángulos del polarizador respecto de la dirección de la luz polarizada de entrada proveniente de una pantalla de ordenador, por por Ffred (CC, dominio público) via wikimedia commons

Para verificar experimentalmente la ley de Malus se ha de colocar un filtro polarizador delante del sensor de luz de del teléfono móvil.

del ángulo girado. Se ven los valores experimentales en la línea azul y superpuestos los teóricos en la línea roja.

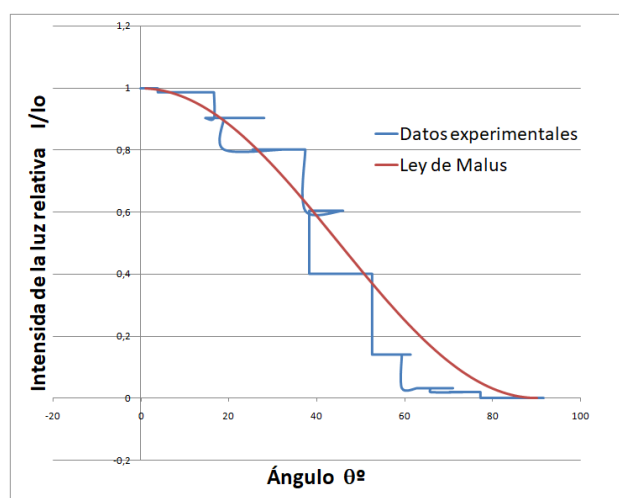


Se pone en marcha la aplicación Physics Toolbox y, en el apartado Reporte múltiple, se marca Sensor de luz y Orientación, de manera que, al pulsar el más en el círculo rojo, el teléfono irá grabando simultáneamente los valores de la intensidad de la luz y de la inclinación del teléfono.

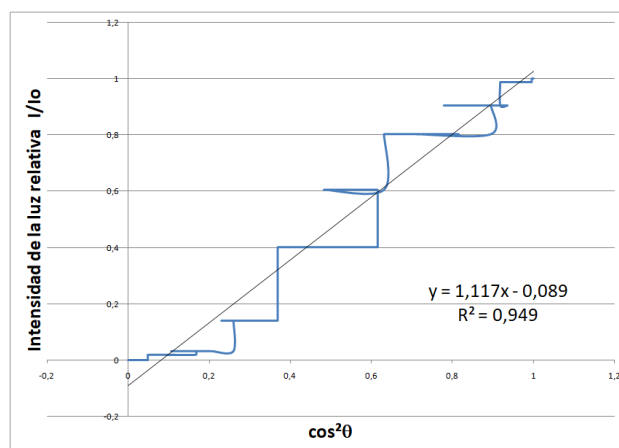
Se pone vertical la pantalla del ordenador y el teléfono pegado a ella, y se gira el teléfono 360° alrededor de su sensor de luz. Se para la grabación y se envían los datos para su tratamiento en una hoja de cálculo o en un programa informático adecuado.

Si el teléfono se ha movido en el plano vertical los valores del ángulo de inclinación corresponden a la columna "Pitch", que fluctúan entre -90° y +90°. Se han de seleccionar un conjunto de datos de la intensidad de luz que vayan del valor máximo al valor mínimo y relacionarlos con los del ángulo correspondiente, corregido para que se inicie en 0°.

En la gráfica siguiente se representan los valores de la intensidad de la luz transmitida (I) relativa a la intensidad máxima que se transmite (I_0) en función



Si se representan los valores de intensidad respecto al cuadrado del coseno del ángulo, el resultado ha de ser una línea recta, como se ve en la siguiente gráfica.



Estos resultados no contradicen la ley de Malus ya que a groso modo la siguen aunque con grandes oscilaciones, pero no son tan concluyentes como los obtenidos por Martín Monteiro y sus colaboradores en el trabajo en el que se basa este experimento (Monteiro y otros, 2017).

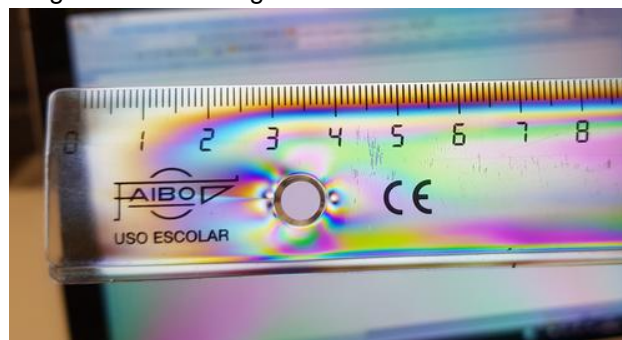
Tensiones estructurales en objetos transparentes

En la fabricación de materiales transparentes o translúcidos, como muchos objetos de plástico, se producen tensiones en su interior de manera que no son ópticamente uniformes y al atravesarlos la luz polarizada no se desvía uniformemente por todos los sitios, dando lugar a interferencias.

Aunque la fuente de luz polarizada sea blanca, si se producen interferencias destructivas para alguno de los colores que componen dicha luz, aparecerán zonas del material coloreadas. Los colores que aparezcan dependerán del espesor del material, de las tensiones internas y de la luz que incida.

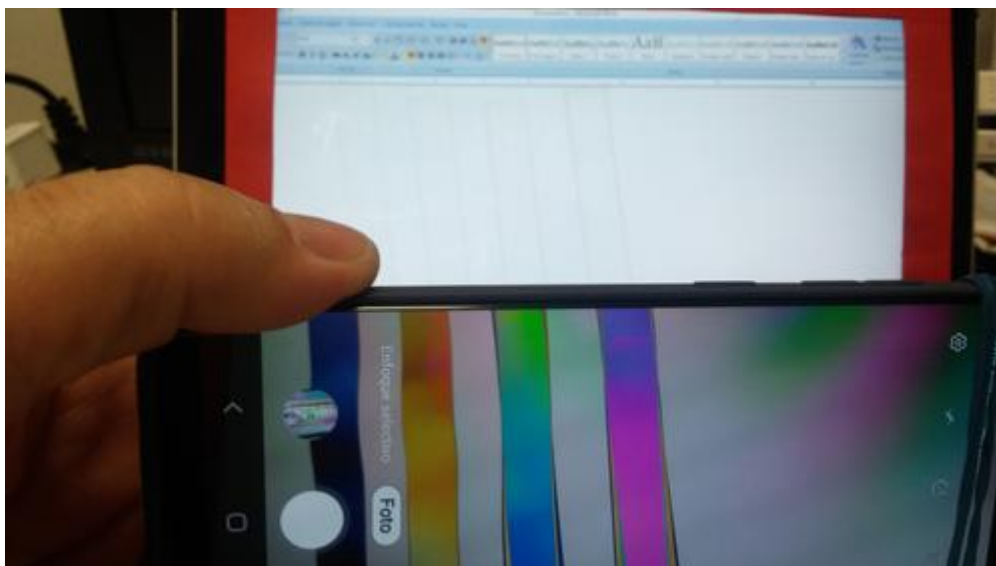
En esta experiencia para ver la fotoelasticidad, que se puede hacer sin necesidad de dispositivos móviles si no se desea fotografiar los objetos, también se utiliza una pantalla de ordenador como fuente de luz polarizada y un teléfono al que se acopla también un filtro polarizador, pero esta vez en el objetivo de la cámara fotográfica.

Se han de poner diversos objetos de plástico transparentes entre la pantalla del ordenador y el teléfono móvil y fotografiarlos. Se obtienen imágenes como la siguiente:



Observaciones

* Si se colocan tiras de cinta adhesiva transparente (cello) sobre una lámina de plástico transparente se pueden conseguir unas imágenes muy vistosas ya que los colores que aparecen van variando con la cantidad de tiras superpuestas y con la inclinación del filtro polarizador. El resultado depende de lo artista que sea uno.



32 El color de los objetos

Es posible observar los objetos y su color a simple vista o a través de la cámara de un teléfono o tableta, y tanto si están iluminados con luz blanca como con luz de un color determinado. La ventaja de hacerlo a través de la cámara es que podemos llegar a cuantificar el color.

Aplicaciones y material a utilizar

Además de las aplicaciones para los dispositivos móviles, disponer de un conjunto de objetos de diferentes colores va muy bien.



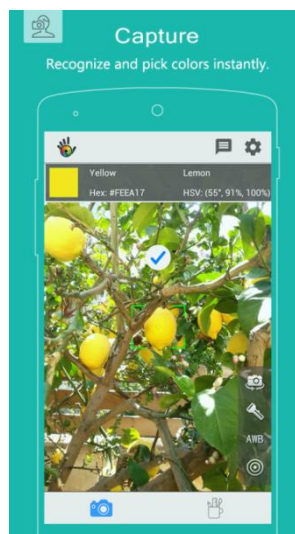
La aplicación **Colores** de **GoPhoton!** permite ver el color de los objetos aplicando los filtros rojo, azul y verde a la luz que reflejan cuando son iluminados por el flash del teléfono. Esta aplicación es el resultado de una iniciativa (GoPhoton!) de diversas instituciones científicas con motivo del Año Internacional de la Luz 2015, entre las que se encontraba el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) de Barcelona.

Color grab es una aplicación muy interesante, sólo disponible para Android, que cuantifica el color que está viendo la cámara del móvil en muchos formatos: Html/Exa, RGB, HSV, etc. Sólo hay que apuntar el teléfono al color que interese e inmediatamente nos devuelve el valor del color, escribe y dice su nombre en inglés si se pulsa el control de volumen, y exporta y/o envía el valor donde queramos.

Color grab



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.loomatix.colorgab>



Pantallas de Color grab y de Physics Toolbox

GoPhoton! Colores



https://drive.google.com/open?id=1hgSt_KPhAgDdttdJ3VzNjS8xiusulQnC

Physics Toolbox Sensor Suite



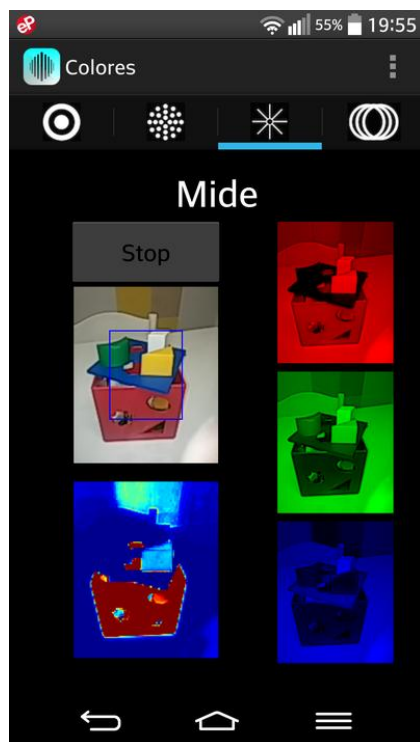
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

La aplicación que integra un detector de color tanto para Android como para iOS es **Physics Toolbox Sensor Suite**, aunque no apunta tan finamente el trozo de color que se desea medir como Color grab, y sólo da el valor hexadecimal y el nombre en inglés.

Realización

A pesar de que la percepción del color no es un asunto fácil ya que depende de muchos factores, entre otros de la naturaleza de la superficie, de la luz que incide sobre ella, del color de los objetos que lo rodean, de nuestros propios ojos e incluso de nuestra experiencia previa en mirar los colores, podemos intentar iniciar el estudio del color de los objetos con la idea simple de que vemos el objeto del color de la luz que refleja.

Por lo tanto podemos acordar para empezar que veremos los objetos de su color sólo si la luz que incide sobre el cuerpo contiene en su composición su color, a pesar de que una misma percepción de color se pueda obtener por mezclas de diferentes frecuencias de radiación visible.



Lo que haremos es, pues, poner sobre un fondo blanco una serie de piezas de diferentes colores, por ejemplo de un juego de construcción de niños o diferentes caramelos coloreados como los "mentos", y compararemos como se ven a simple vista con luz

natural y cómo se ven a través del móvil o tableta con la aplicación Colores de GoPhoton!.

Esta aplicación visualiza lo que ve la máquina a través de tres filtros, rojo, verde y azul, por lo que se ve en qué medida los objetos reflejan estos tres colores. Por ejemplo, si nos fijamos en el objeto verde se comprueba que se ve verde y más claro con el filtro verde. Como esta app presenta en pantalla todas las imágenes al mismo tiempo, se ve más grande y mejor con una tableta.

Aunque la actividad también se puede hacer mirando los objetos a través de filtros de color de plástico, obtenidos por ejemplo de separadores de carpeta de colores transparentes, la aplicación Colores de Gophoton! permite ver los cuerpos a través de tres filtros a la vez y hacer mejor las comparaciones.

El color de las piezas de plástico iluminadas con luz natural o con una luz de un color determinado se puede ver también gracias a las otras aplicaciones comentadas, Color Grab y el Detector de color de Physics Toolbox Suite. Si enfocamos la pieza cuando está iluminada con luz natural nos devolverá el valor de su color, que no coincidirá con el que se obtiene cuando se ilumina con otra luz concreta, a menos que contenga su propio color.

Para dar luz de diferente color a los cuerpos tradicionalmente se usaban bombillas forradas con celofanes de los diferentes colores de interés. Ahora se dispone de luces led de diferentes colores o de bombillas led que cambian de color accionadas por un mando a distancia.

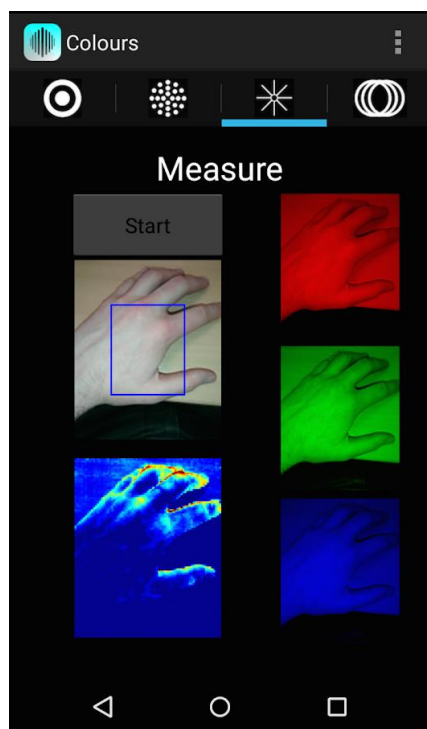
También se pueden usar las pantallas de los dispositivos móviles como fuente de luz de un color determinado. Aplicaciones como Physics Toolbox en su apartado **Generador de color** permiten iluminar con la pantalla coloreada con cualquier luz: primaria, secundaria o personalizada.

Para ver bien el efecto se debe colocar la fuente de luz y los objetos de color en una caja con las paredes oscuras y oscurecer también la habitación.

Observaciones

* Colores de GoPhoton! muestra en pantalla una quinta imagen que presenta la diferencia entre las imágenes obtenidas con los filtros rojo y verde.

Resulta que cuando se visualiza la piel se ve la luz reflejada no sólo por la superficie externa sino también en parte por el tejido inmediatamente por debajo de la piel, donde pueden encontrarse vasos sanguíneos. Si hay más sangre, como es roja, la reflexión aumentará más en el rojo que en el verde.



Si se mira con la app un brazo desnudo en el que se ha presionado con el dedo y después se ha soltado, encontraremos que se nota el paro del flujo de sangre. Los autores de la aplicación dicen que es posible notar las diferencias de afluencia de sangre a la cara cuando la gente se ruboriza, pero yo no lo he podido comprobar.

* De las diferentes maneras de medir el color, las que más nos pueden interesar son la RGB/hexadecimal/Html y la HSV. La forma RGB (Red, Green, Blue) nos indica la composición del color en función de las luces primarias roja, verde y azul, lo que es muy interesante para definir colores en las pantallas de ordenador y las páginas web,

por ejemplo si queremos traspasar un color determinado a un dibujo.

* El modelo HSV (Hue, Saturation, Value) define el valor del color en función de los vectores tonalidad, saturación y valor, y es más utilizado en pinturas. Para nosotros este modelo tiene interés sobre todo por el valor de la tonalidad que mide el color en un círculo cromático que sigue los colores del arco iris, por lo que podemos definir los colores por un solo número que va de 0 a 360°, y así un verde de $H = 100^\circ$ es más claro que el verde $H = 120^\circ$.



RGB color circle, de Steve11235 (CC0 1.0) Public Domain Dedication

* El teléfono móvil junto con la aplicación Color grab pueden realizar la función de un colorímetro para medir la concentración de algunas disoluciones coloreadas, como es la del sulfato de cobre II. Es el valor de la tonalidad (hue) lo que permite medir cuantitativamente que la disolución esté más o menos concentrada. Debo decir que el experimento funciona a la perfección. Se describe en un artículo de los profesores europeos Montangero, Bengtsson, Gajdosné, Los y Jonas, traducido al castellano por José Luis Cebollada (Montangero y otros, 2016)

33 Suma y resta de colores

En esta experiencia se pretende sumar aditiva y sustractivamente colores para ver la diferencia entre la mezcla de pigmentos coloreados y de luces de colores.

Aplicaciones y material a utilizar

La aplicación Physics ToolBox Sensor suite en su apartado **Generador de color** permite iluminar la pantalla de los dispositivos móviles con cualquier luz: primaria, secundaria o personalizada que interese.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Hay muchas aplicaciones que pretenden ayudar a los pintores a saber el color que se obtiene por combinación de diferentes pinturas. Una de ellas es **Color Mixer**.

Color Mixer



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nitramite.colormixer>

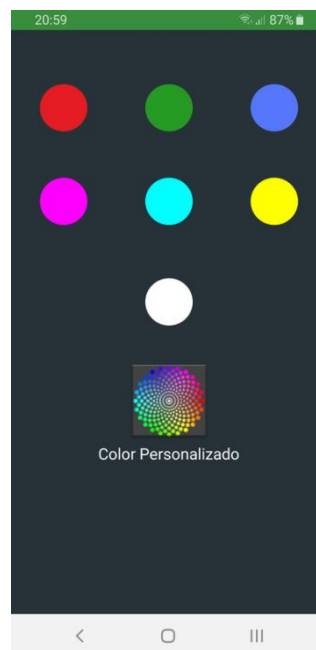
Para la combinación de luces de colores se necesitan tantos móviles como fuentes de luz se desee utilizar.

Para ver los píxeles de las pantallas de ordenador y de las televisiones hace falta incorporar al dispositivo móvil una lente que lo convierta en una lupa. Se pueden comprar en cualquier tienda de tenga accesorios para móviles a precios muy asequibles.

Realización

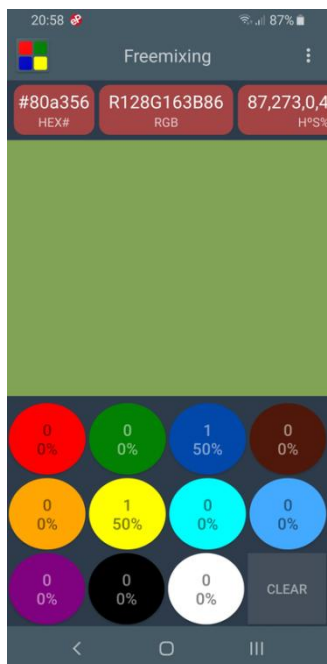
Las pantallas de los dispositivos móviles se pueden usar como fuente de luz de un color determinado. Estas luces reflejadas sobre una pantalla blanca pueden combinarse entre sí dando lugar a diferentes colores, aunque el resultado es bastante pobre.

Para ello no hay más que pulsar sobre el color que interese en el apartado Generador de color de la aplicación Physics Toolbox e inclinar los teléfonos sobre una superficie blanca, como puede ser un papel, y superponer unas luces con otras.

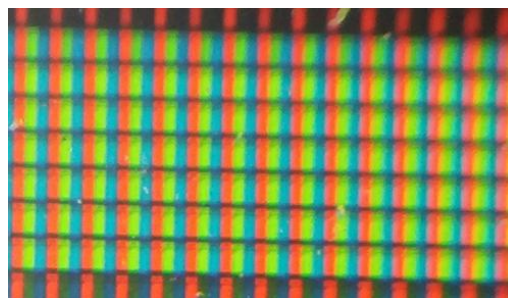


Por otra parte las aplicaciones de teléfonos y tabletas pueden simular que se están mezclando pigmentos en sus pantallas y permiten visualizar aproximadamente el color que se obtendría al mezclar dos o más entre sí.

El Color Mixer se puede jugar directamente con los colores primarios y secundarios que aparecen en la primera pantalla por defecto, solo con pulsar los colores que se desee combinar. En el ejemplo de la captura de pantalla siguiente se han mezclado el amarillo y el azul al 50 %, dando lugar al verde.



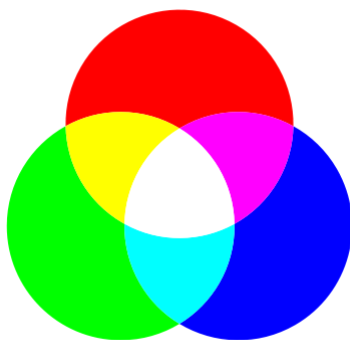
construyen todas las imágenes, como se aprecia en la foto de abajo.



* La mezcla substractiva de pigmentos aporta menos radiación luminosa que el reflejo de cada color por separado, de manera que la combinación a partes iguales de amarillo, rojo y azul da lugar en el caso teórico al negro.

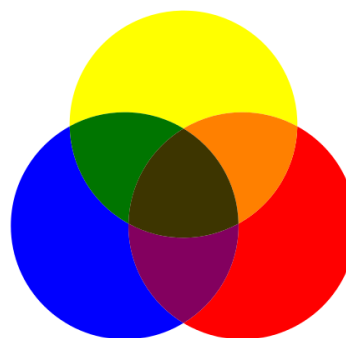
Observaciones

* La mezcla aditiva de luces aporta más radiación luminosa que cada color por separado, de manera que la combinación a partes iguales de verde, rojo y azul da lugar al blanco.



Síntesis aditiva de color, de Jorgelrm (CC BY-SA 3.0) via wikimedia commons

* Precisamente esta propiedad es la que se utiliza para conseguir que las pantallas emitan todos los colores solo a partir de las tres luces fundamentales: rojo, verde y azul (RGB). No hay más que acoplar una lente de plástico a la cámara de un teléfono móvil y acercarlo a la pantalla del monitor del portátil para apreciar los puntos de color con los que se



Síntesis de color RYB, de Jorgelrm (CC BY-SA 3.0) via wikimedia commons

En la pantalla del teléfono con la aplicación Color Mixer dará lugar a un color más oscuro, pero no negro, como quizás se aprecie en el dibujo de arriba. Por eso la combinación de colores RYB se complementa con el negro.

* Con el teléfono convertido en una lupa se puede prescindir de las tradicionales lupas de laboratorio y, no solo ver, sino también realizar fotografías de todo aquello que interese: superficies de hojas, minerales, insectos, etc.

34 Medida de las pulsaciones

Tradicionalmente, para mostrar al alumnado como el ejercicio físico demanda más cantidad de oxígeno en el torrente sanguíneo, antes y después de 10 o 20 sentadillas seguidas se medía la cantidad de respiraciones por minuto que realizaba el deportista, o se medían sus pulsaciones colocando el pulgar en su muñeca y midiendo el tiempo con un cronómetro.

Ahora, los teléfonos inteligentes pueden realizar esta medida directamente.

Aplicaciones y material a utilizar

Además de la app Colores, la iniciativa GoPhoton! también elaboró otra aplicación, **Heart Rate**, que permite obtener el ritmo cardíaco sólo poniendo un dedo sobre el ocular de la cámara del teléfono mientras la aplicación va midiendo las variaciones de transparencia que observa en el dedo según pasa más o menos cantidad de sangre por él.

En el mercado hay muchas otras aplicaciones que incorporan la medida de las pulsaciones, pero GoPhoton es gratuita, no introduce publicidad, no pide permisos absurdos, etc

Gophoton! Heart Rate



<https://drive.google.com/open?id=1zp7z54f4WyN1PtFQLXu201R6cJcm1Co6>

Realización

Se coloca el dedo índice sobre el objetivo de la cámara fotográfica del teléfono tapándolo y se pone en marcha la aplicación Heart Rate. En ese momento la aplicación enciende la bombilla led que hace de flash o de linterna del móvil y empieza a contar las fluctuaciones de intensidad de luz que detecta a través de la yema del dedo.

La yema del dedo es una zona vascularizada por la que circula la sangre en mayor o menor cantidad en función de los impulsos que recibe del corazón.



El encendido de la linterna se realiza para que disponga la cámara de una fuente de luz potente y continuamente de la misma intensidad, ya que esta bombilla se encuentra en todos los teléfonos al lado del objetivo de la cámara de fotos.



Las pulsaciones por minuto (BPM) y las variaciones del ritmo cardíaco se muestran directamente en la pantalla, como se ve en la captura de arriba.

Observaciones

* Una información detallada del procedimiento que utiliza el teléfono para medir las pulsaciones se encuentra en la misma aplicación.

* Si el teléfono no dispone de flash se ha de realizar la experiencia en un lugar muy bien iluminado o lo más cerca posible de una bombilla encendida.

* Si mientras se está midiendo el ritmo cardiaco a una persona se le pregunta algo y previamente se ha acordado con ella que debe contestar con una mentira, es muy probable que suba en ese momento el número de pulsaciones.



35 Espectroscopia cualitativa y cuantitativa

Acoplando un espectroscopio al objetivo de la cámara fotográfica de un teléfono o tableta se pueden fotografiar los espectros y posteriormente analizarlos para medir las longitudes de onda de las bandas espectrales que aparezcan.

Aplicaciones y material a utilizar



En este caso no hay una aplicación móvil específica a utilizar sino que el teléfono o tableta se han de conectar a una página web a través del navegador que utilice el usuario, por ejemplo Firefox.

La página web es la de **SpectralWorkbench**, donde está embebida la aplicación que permite realizar el análisis cuantitativo de los espectros.

SpectralWorkbench	
	
https://spectralworkbench.org/	

Para hacer fotografías de los espectros basta con la aplicación que utilicen habitualmente los usuarios.

Para realizar los espectros se necesita un espectroscopio conectado al dispositivo móvil. En la página web de **Public Lab** proponen diferentes soluciones. La que más me gusta es la de construir un espectroscopio de cartón que se acopla directamente al objetivo de la cámara fotográfica del teléfono.

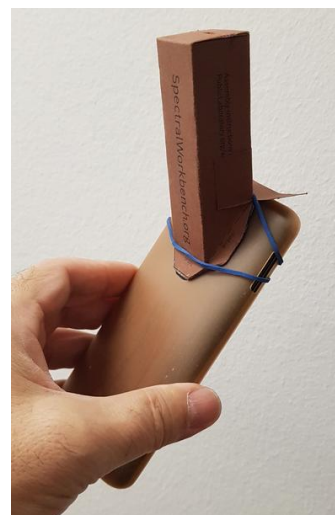
Public Lab	
	
https://publiclab.org/wiki/spectrometry	

Realización

Se descarga el archivo PDF con el recortable del espectroscopio de la página web de Public Lab y se imprime en una cartulina de color oscuro. A continuación se recorta y se pega según las indicaciones incorporadas en el PDF.

En el espectroscopio se ha de colocar una red de difracción. El espectroscopio está diseñado con una inclinación para que la red de difracción se obtenga de un DVD (1351 lin/mm) o se compre una de 1000 lin/mm. Como obtener la red de un DVD se explica en la web de Public Lab (Warren, 2017) y también en la mía (Ramírez, 2009).

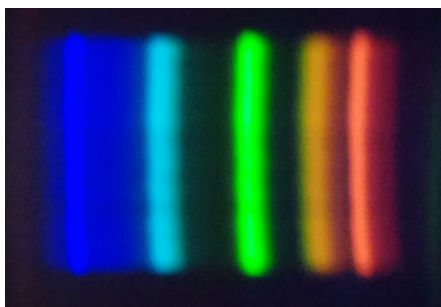
Una vez comprado o construido el espectroscopio, se sujeta al teléfono o tableta de manera que la red de difracción coincida con el objetivo de la cámara fotográfica.



Para **realizar fotografías** de espectros no hay más que poner en marcha la aplicación de fotografía del teléfono y enfocar la ranura abierta del espectroscopio a la fuente de luz que se desee analizar.

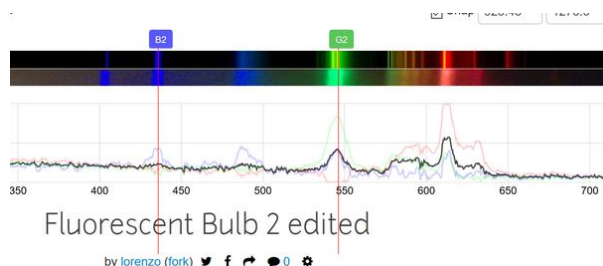
Para **analizar cuantitativamente los espectros obtenidos** lo primero hay que hacer es calibrar el conjunto espectroscopio-dispositivo móvil. Básicamente lo que hay que hacer es obtener un espectro de una fuente de luz fluorescente de la que se conoce la longitud de

onda de dos rayas del espectro, una azul (436 nm), y otra verde (546 nm).



Espectro de una lámpara fluorescente obtenido con un espectroscopio de cartón de Public Lab

Es este espectro conocido el que se calibra para indicar a la aplicación las posiciones de la gráfica corresponden a longitudes de onda determinadas. Se puede hacer automáticamente o moviendo las marcas verde (G2) y azul (B2) encima de las correspondientes franjas de los colores verde y azul del espectro. En la página web de Public Lab se dan explicaciones más detalladas (Warren, 2016).

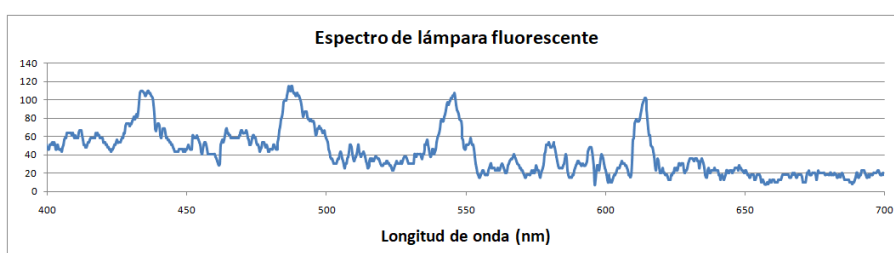


Según el dispositivo móvil de que se disponga es posible realizar directamente en él la calibración y análisis de los diferentes espectros, pero hay muchos móviles en los que la aplicación en línea se dirige a la cámara delantera del teléfono y no a la trasera, de manera que no hay más remedio que hacer las fotografías de los espectros que interese y analizarlas más adelante en la página web.

En cualquier caso, al acceder a la página de Spectralworkbench, se ofrece la doble posibilidad de capturar un espectro en línea o subir una imagen previamente realizada. Aunque se puede trabajar sin darte de alta es preferible hacerlo ya que así puedes guardar los espectros y trabajar con ellos en momentos diferentes.

Una vez calibrado el espectro de la lámpara fluorescente, no hay más que subir el de otra fuente de luz que se quiera analizar y el programa lo hace automáticamente en función de la calibración realizada.

Una vez hecho se pueden guardar los datos obtenidos, por ejemplo en csv, y reproducirlos después en una hoja de cálculo, como se ve a continuación.



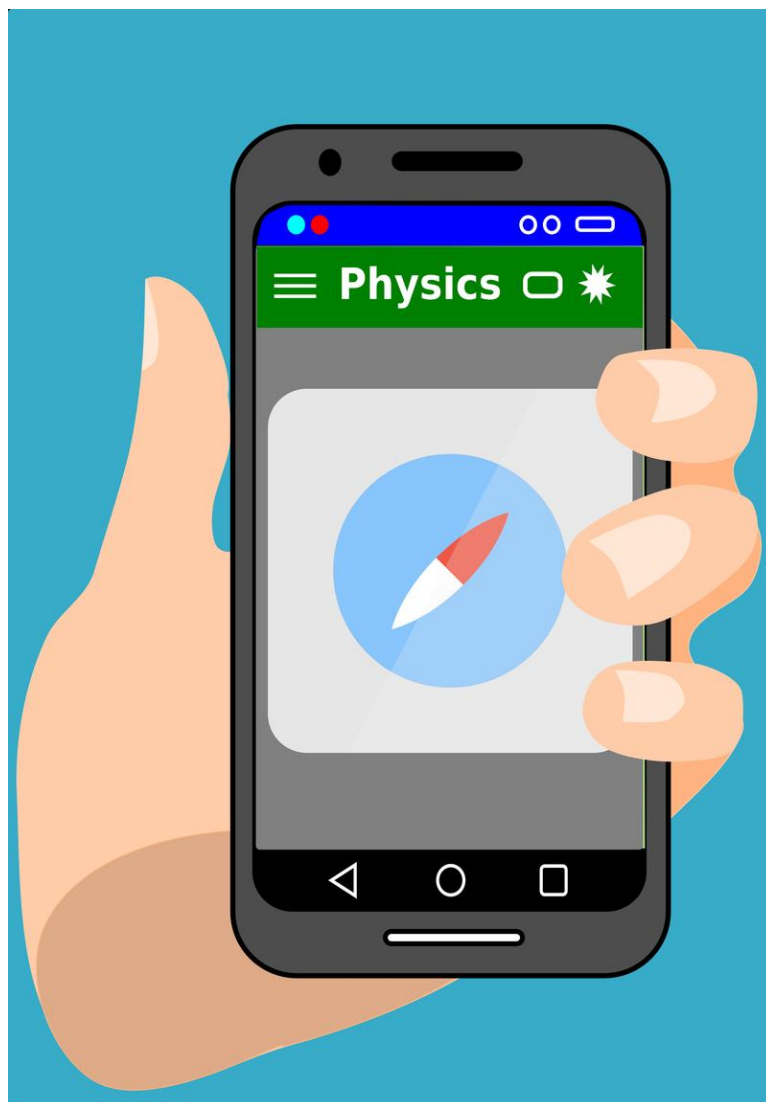
Observaciones

* Además del espectro de las lámparas fluorescentes se pueden intentar analizar los espectros de diferentes lámparas, en concreto de las de sodio que todavía existen en el alumbrado público. También se pueden estudiar los espectros de las lámparas de gases de los equipos de espectroscopia de los laboratorios de secundaria, en particular la de hidrógeno que permite calcular la constante de Rydberg a partir del valor de la longitud de onda de sus rayas espectrales (Ramírez, 2005).

* Los espectros a analizar deben realizarse y/o fotografiarse en una misma sesión sin sacar y poner el espectroscopio en el dispositivo móvil ya que cada vez que se vuelve a colocar hay muchas posibilidades de que se haga de forma diferente y que la calibración inicial ya no sirva y se tenga que volver a realizar.

* En la misma página web de Public Lab proponen diferentes investigaciones a realizar con el espectroscopio, como puede ser detectar azúcar añadido en el vino o detectar adulteraciones en el aceite, por ejemplo.

Electromagnetismo



36 El campo magnético de la Tierra

El sensor magnético de los teléfonos móviles les permite, no solo indicar la orientación magnética y funcionar como una brújula, sino también indicar cuantitativamente los valores del campo magnético terrestre.

Aplicaciones y material a utilizar

Hay muchas aplicaciones que permiten medir los valores del campo magnético y/o hacer de brújula, pero resulta especialmente interesante **Gauss Meter**, específica para este propósito, gratuita y que no solicita ningún permiso en la instalación.

Gauss meter	
	
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.gaussmeter	

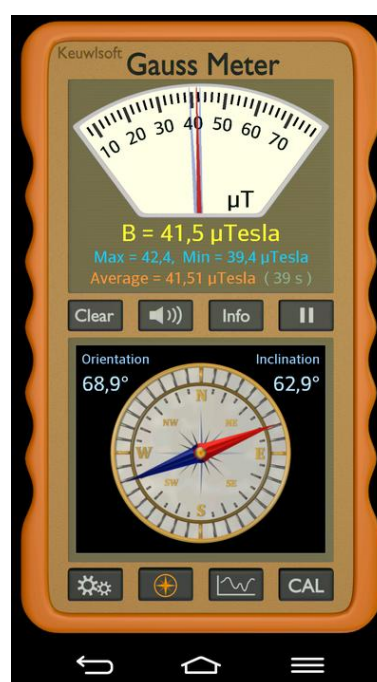
Se necesita que el teléfono o tableta dispongan de sensor magnético, que es habitual pero que no está presente en los dispositivos de gama baja.

Realización

Aunque la aplicación permite su calibrado, ya viene bastante bien calibrada de entrada para los estudios escolares, así que sólo hay que ponerla en marcha y ya se ve el valor en microteslas (μT) del campo magnético del lugar en el que está el teléfono o tableta.

Si se quiere medir la inclinación magnética del lugar se ha de pulsar el botón con una cruz rodeada para que aparezca la brújula y el valor de la inclinación directamente. También se puede comprobar cualitativamente la inclinación magnética mirando lo que inclina el teléfono cuando el valor de la componente Z del campo es máximo. Para ver las componentes del campo se debe pulsar el botón con el símbolo de una gráfica.

Para medir la declinación magnética del lugar debemos poner el teléfono o tableta haciendo coincidir su eje Y en la dirección geográfica sur-norte y la orientación de la brújula dará el valor de la declinación (el ángulo que forman las direcciones del norte geográfico y el magnético). Para encontrar la dirección sur-norte de un punto podemos, por ejemplo, esperar a las 12 horas solares y colocar el teléfono en la línea de sombra de un poste vertical (un gnomon).



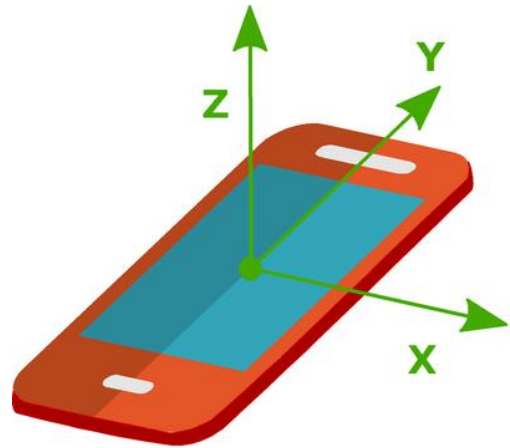
También podemos consultar en **Google Earth** (herramientas - regla) cual es una determinada dirección de una acera, una casa, etc. y medir la desviación de la orientación en ese punto.

Observaciones

- * Los valores de campo magnético se deberían tomar preferiblemente en un lugar alejado de material ferromagnético (tablas con patas de hierro, por ejemplo) o fuera de un pabellón con tejado metálico. El patio de la escuela o un descampado es ideal.

- * Se ha de recordar como son los ejes del teléfono, también para el caso del campo magnético. El eje Z es perpendicular a la pantalla del teléfono, el eje Y

está en el plano del aparato en la dirección paralela a la parte alargada del teléfono y el eje X está en el plano del dispositivo, pero esta vez en la dirección paralela a la parte estrecha.



37 Experimento de Oersted

El experimento de Oersted, llamado así en honor al físico y químico danés Hans Christian Ørsted, es uno de los más sencillos y bonitos de la Física. Fue un hito en la historia del electromagnetismo ya que el hecho experimental de que las corrientes eléctricas fueran capaces de producir campos magnéticos unió ambas disciplinas.

Por este motivo y porque es fácil de realizar es un experimento habitual en los laboratorios escolares en los que tradicionalmente se ha utilizado una brújula clásica de aguja imantada.

Aplicaciones y material a utilizar

Cualquier aplicación que disponga de una brújula puede servir, pero **Gauss Meter** funciona especialmente bien.

Gauss meter



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.gaussmeter>

Se necesita un cable eléctrico de una longitud aproximada de 1 m para que sea posible mantenerlo recto por encima o por debajo del teléfono mientras se realiza la experiencia. También es necesaria una pila cualquiera (es suficiente una pila AA de 1,5 Voltios).

Realización

Lo primero que hay que hacer es buscar la posición donde se encuentra el sensor magnético en el teléfono, ya que cada modelo de teléfono lo puede tener en un lugar diferente. Se pone en marcha la aplicación y con un imán pequeño no demasiado potente (de ferrita) se va pasando por encima del teléfono hasta encontrar el punto en el que el valor del campo magnético es máximo. Una vez localizado se puede pegar un trocito de posipast para recordarlo.

Para recrear el experimento de Oersted se debe poner el teléfono sobre una mesa con la pantalla hacia arriba y poner en marcha la aplicación Gauss Meter. A continuación se debe girar el teléfono hasta que la parte roja de la aguja marque el norte. Después se coloca un cable eléctrico suficientemente largo extendido en la misma dirección de la aguja pero que pase por encima o por debajo del punto que previamente hemos localizado como el lugar en el que está situado el sensor magnético.

Si se conectan los extremos del cable eléctrico a una pila veremos cómo se mueve la aguja de la brújula hasta ponerse casi perpendicular al cable. El giro será hacia la derecha o la izquierda en función de cómo esté colocado el sensor magnético en el teléfono, de si el cable está por encima o por debajo del teléfono, o de si la polaridad de la pila es en un sentido o en otro.



En el caso de las fotografías de arriba el cable se ha colocado justo por encima del sensor magnético del teléfono. En la primera foto no pasa corriente ya que los cables no están en contacto con la pila y la brújula marca el norte ya que el teléfono se ha colocado en la dirección sur-norte. En la segunda fotografía se ve como la aguja se desvía hacia la derecha cuando se conecta el cable a los dos extremos de la pila (positivo parte gris y negativo parte azul de la pila) de modo que la corriente circula por el cable de arriba abajo en la foto.

Observaciones

* Como la resistencia de 1 m de cable eléctrico es muy pequeña, la intensidad que circula al conectarlo a los polos de una pila es muy grande (del orden del amperio) lo que ocasiona el calentamiento del cable y que la pila se gaste rápidamente.

Tanto para ahorrar pilas como para que nadie se quemara hay que conectar el cable solo durante unos segundos, suficientes para ver el fenómeno.

* Si se somete al sensor del teléfono a un campo magnético muy grande, por ejemplo cuando se está buscando su posición, es posible que se sature y que durante un tiempo indique la aplicación valores desproporcionados de la intensidad del campo. Es cuestión de tener paciencia y esperar un rato. También ayuda mover el teléfono en el aire describiendo la figura de un ocho, tal y como aconsejan los técnicos de Google para el caso de que la brújula no indique bien la dirección en su aplicación Google Maps.

38 El campo magnético de un imán y la distancia

El sensor Hall que mide el campo magnético en los teléfonos permite obtener valores de los campos generados por imanes permanentes. En este experimento se intenta encontrar la dependencia de dichos campos con la distancia a la que se encuentren los imanes del sensor.

Aplicaciones y material a utilizar

En esta práctica es preferible utilizar la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite** para ver con más facilidad los valores obtenidos con el magnetómetro y además poder guardarlos.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

Los materiales que se necesitan son una regla y un imán cilíndrico de ferrita.

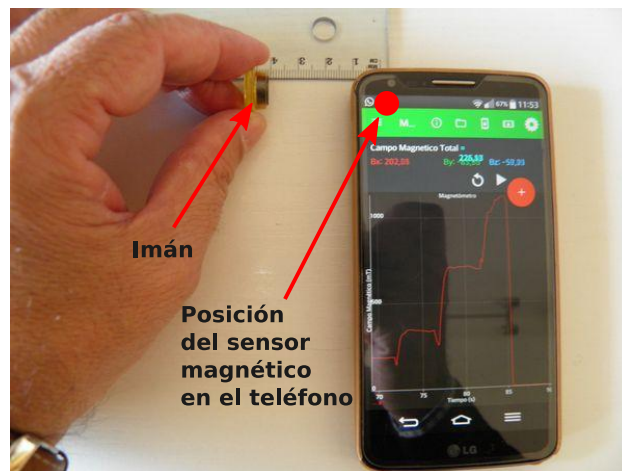
Realización

En este ejercicio estudiaremos la variación de la intensidad del campo magnético de un imán permanente de ferrita en función de la distancia al imán a lo largo de su eje norte-sur. Mediremos el valor a diferentes distancias y luego las analizaremos con la ayuda de una hoja de cálculo o de software específico de análisis gráfico de datos.

Lo primero que se debe hacer, como en el caso del Experimento de Oersted, es buscar la posición aproximada del sensor del campo magnético en el dispositivo que se vaya a utilizar, usando la aplicación Magnetómetro del Physics Toolbox y moviendo un imán por encima del teléfono o tableta. Cuando el imán se encuentre encima del sensor de campo del aparato el valor de campo magnético total que dará la aplicación será máximo. Se puede marcar este punto con un pequeño trozo de cinta adhesiva para recordarlo.

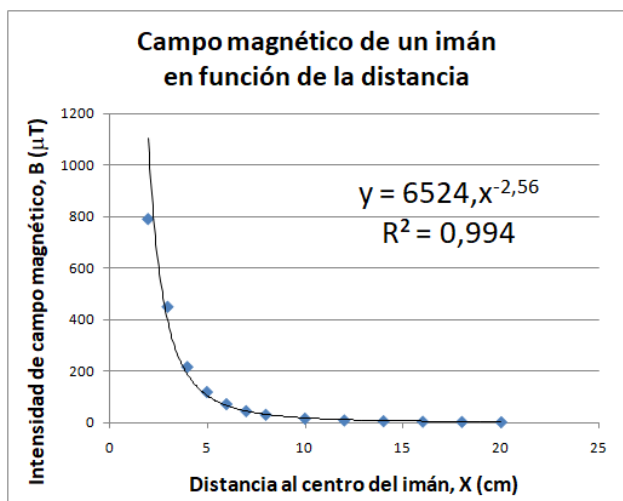
Tal y como se muestra en la imagen de abajo se debe colocar el teléfono sobre una mesa y extender una regla en la dirección de uno de los ejes del teléfono (en el caso de la fotografía, eje X), con el cero a la altura del punto donde se encuentre el sensor. El imán se colocará sobre el eje X a diferentes distancias del sensor magnético, orientado con el polo que dé un valor positivo a la componente B_x en la aplicación.

Ahora ya se puede empezar a anotar los valores del campo B_x para diferentes distancias X del centro del imán al sensor. No hace falta grabar los datos en un archivo para después analizarlos ya que no se necesitan datos continuos y, además, serán pocos los valores utilizados (para ejemplificar este experimento he tomado 13 valores). Lo que propongo es anotar los valores mientras se van consiguiendo y luego estudiarlos.



Si se hace una gráfica con los valores conseguidos con un imán de nevera se obtiene una línea decreciente con la distancia, tal como esperábamos.

A continuación se muestra la gráfica conseguida de tipo dispersión (B vs. X) hecha con una hoja de cálculo, donde se ha añadido la línea de tendencia, la ecuación de la línea (potencial) y el valor del coeficiente de regresión para a la ecuación.



En el ejemplo realizado se obtiene un valor para el coeficiente exponencial de -2,57, con un valor de la correlación $R^2 = 0,995$ bastante bueno, lo que indica que la ecuación potencial está bien escogida para representar el fenómeno:

$$B = 6524,3 \cdot X^{-2,57} \text{ (si X en cm, B en } \mu\text{T)}$$

Observaciones

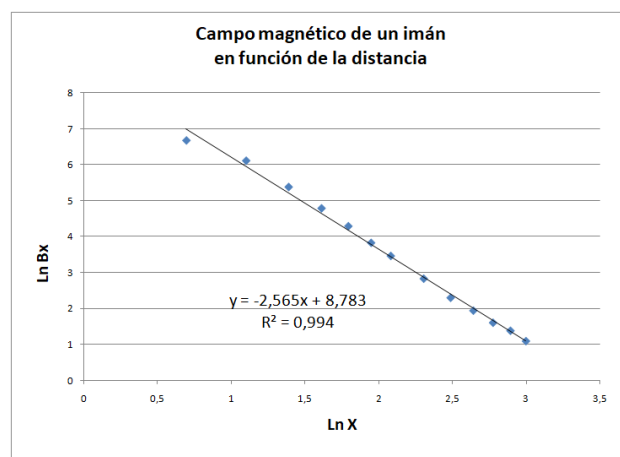
* Puede que el sensor se sature y la aplicación quede colapsada si el campo que sufre es muy fuerte, por ejemplo si se realiza la experiencia con un imán de neodimio. No hay que preocuparse, sólo esperar un poco y reintegrarlo a los valores normales moviendo el teléfono en vertical haciendo la figura de un ocho, como propone Google.

* La unidad de intensidad de campo magnético es el Tesla (T), pero como es una unidad muy grande cuando se mide el valor del campo producido por un imán de ferrita se hace en microteslas (μT). Recuerdo que el valor de la intensidad de campo magnético generado por la Tierra en su superficie está entre 25 y 65 μT .

* El campo magnético de un imán de barra a una distancia x desde el centro del imán a lo largo de la dirección de sus polos está dada por $M = a/x^b$ donde a y b son constantes. El campo eléctrico de una

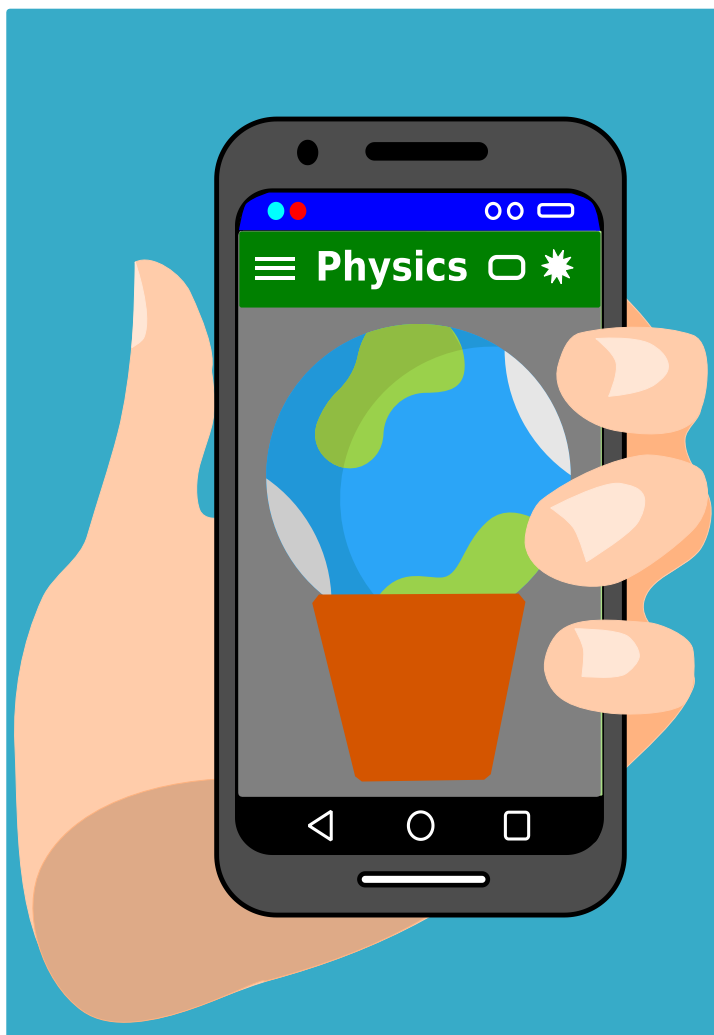
fuente puntual disminuye en función de $1/r^2$ pero en el caso de los imanes, en los que no se pueden separar sus polos (tenemos siempre un dipolo) su campo disminuye en función de $1/r^3$ a lo largo del eje del dipolo por lo que la constante b debería aproximarse a 3. en el caso de un imán de barra muy largo, Sólo con sus polos muy separados, la constante b se acercaría más a 2. En la práctica, con el método utilizado, los valores que se obtienen están entre 2,5 y 3 (en nuestro caso, 2,57) (Franco, 2015f).

Como la ecuación es $M = a/x^b$, si se toman logaritmos se transforma en $\log M = \log a - b \log x$. Por lo tanto, si se representan en una gráfica los valores de los logaritmos de los datos obtenidos se debería obtener una línea recta de pendiente negativa igual a b.



* Cuando no había teléfonos móviles también se podía estudiar cómo variaba con la distancia el campo magnético generado por un imán. En la Guía didáctica para aplicar el crédito *Electromagnetisme* que elaboramos en 2004 ya proponíamos en el apartado Estudio cuantitativo de la fuerza entre imanes: Ley de Coulomb (pág 22) hasta cuatro maneras de hacerlo en un laboratorio escolar (Ramírez y otras, 2004).

Física de la Tierra



39 Medida de la radioactividad ambiental

Gracias al sensor de la cámara fotográfica de los teléfonos móviles es posible detectar y medir la radiación ionizante a la que se está sometido.

Aplicaciones y material a utilizar

Aunque hay muchas aplicaciones que prometen medir la radioactividad que se padece en un sitio determinado, la mayoría no son sino aplicaciones – broma que lo único que pretenden es asustar y/o gastar bromas y unas pocas que son serias lo que indican es el valor que suministra la estación de control de la radioactividad más próxima a nuestra localización. Por el contrario, **Mostrador de radioactividad** (Radioactivity Counter) mide en conjunto los niveles de radiación beta y gamma aprovechando la sensibilidad del sensor de la cámara fotográfica de los teléfonos.

Mostrador de radioactividad



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rd.klein.radioactivity>

Se necesita cinta adhesiva de electricista de color negro para tapar el objetivo de la cámara.

Realización

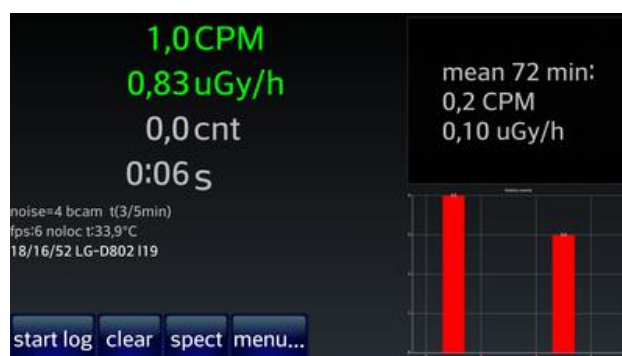
Las cámaras de los teléfonos son sensibles a los fotones de luz visible y por eso hacen fotografías, pero también, como ya se ha comentado, a la luz infrarroja y la ultravioleta, y en alguna medida a radiaciones mucho más energéticas, como la gamma.

El teléfono necesita, sin embargo, un poco de preparación. En primer lugar se debe evitar que el sensor de la cámara llegue otra luz que no sea la más energética. Para conseguirlo se debe tapar el objetivo de la lente con un mínimo de tres capas de cinta adhesiva negra.

En segundo lugar, se debe calibrar. El autor del programa ya tiene calibrados en su web una serie de móviles (Rolf-Dieter Klein, 2018), pero si no es el caso ya que existen infinidad de teléfonos cada uno con una cámara diferente, se le puede escribir (en inglés) y ayuda a hacer la calibración del aparato con la mayor amabilidad.

Para calibrarlo, primero hay que dejar que la aplicación ajuste automáticamente el ruido de fondo y después hay que introducir en ajustes del menú la cuentas por minuto que corresponden a 100, 1000 o 50000 $\mu\text{Gy/h}$.

Una vez calibrado solo hay que dejar que mida la radioactividad ambiental durante un tiempo mínimo de 5 minutos. Los resultados globales aparecen en pantalla, pero se pueden guardar en un archivo log para ver cómo han evolucionado a lo largo de la medición.



Observaciones

* No se puede esperar maravillas. El tubo de un contador Geiger puede tener 8 o 10 cm de longitud y el sensor de la cámara fotográfica 2mm x 2mm. También depende del sensor de la cámara.

Si dispone de un contador Geiger no hay color, pero el contador más barato no se encontrará por menos de 150 € y todos tenemos a mano un teléfono con cámara fotográfica.

* En todo caso la aplicación junto con el teléfono son capaces de dar valores del orden de magnitud de la radiación que están midiendo y se pueden usar como contadores de radioactividad para mostrar al alumnado que determinados materiales, como el

granito o las caperuzas de las lámparas de gas de camping, son emisores de radiactividad.

* Continuamente padecemos una radiactividad ambiental de fondo, cuyos valores se pueden consultar en la web de Consejo de Seguridad Nuclear (ver referencias). En Lleida tenemos una radiación gama media de 130 nGy/h. Al lado se muestran las fotos de un teléfono y un contador Geiger con la medida que dan de la radiación gamma que sufro en casa. Se puede comprobar que los valores de 146 nGy/h, que da el Geiger, y de 100 nGy/h, que da el móvil, son del orden de lo que debería ser.



40 Localización de astros

Se puede salir una noche al campo y observar las estrellas, pero si no se conocen no dejan de ser solo puntos brillantes. El GPS y la brújula de los teléfonos inteligentes ayudan a localizar en el cielo los diferentes cuerpos celestes.

Aplicaciones y material a utilizar

La aplicación Sky Map descubre los objetos celestes más importantes solo con enfocar el teléfono hacia ellos. También tiene una función de búsqueda que ayuda a localizarlos.

Sky Map



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.stardroid>

Para que la aplicación funcione bien es necesario que el teléfono o tableta disponga de GPS y de sensor magnético.

Eclipse Calculator 2.0 es una aplicación Android para el cálculo de eclipses y tránsitos planetarios que permite conocer toda la información para saber dónde, cómo y cuándo van a suceder

Eclipse Calculator 2.0



<https://play.google.com/store/apps/details?id=calcEclipsi2.src>

Realización

No hay más que enfocar el teléfono hacia el punto luminoso en el cielo que nos interese conocer su identidad y aparece en la pantalla del dispositivo móvil una representación de esa porción de cielo con el nombre de los diferentes astros.

Se pueden ocultar y/o mostrar los planetas, las estrellas, las constelaciones, etc. También se puede poner la aplicación en modo manual y arrastrar con el dedo el cielo sin necesidad de girarnos.



Alternativamente se pueden buscar los diferentes elementos introduciendo su nombre, o a través de la galería de imágenes que tiene del telescopio Hubble.

Tiene la posibilidad de viajar en el tiempo desde 1900 hasta el año 2100. Combinado con la aplicación Eclipse permite saber cómo estará el cielo en el acontecimiento que nos interese.

Observaciones

* Para que funcione bien la localización normalmente es necesario calibrar el sensor magnético girando el teléfono sucesivamente sobre sus tres ejes o bien haciendo la figura de un ocho en el aire.

41 La iluminación por el Sol de la Tierra

Se trata de utilizar el móvil para medir la radiación solar que incide sobre la Tierra (paralela). La tierra paralela es un instrumento didáctico de primera magnitud para enseñar astronomía al alumnado de cualquier edad. La idea de la tierra paralela la conocí de la mano de Carmen Alemany (Alemany y Ros, 2011), y no es sino un simulador de nuestra Tierra. Esteban Esteban también hace propuestas muy interesantes para trabajar con ella (Esteban, 2014).

Aplicaciones y material a utilizar

Se puede usar el Sensor de luz (luxómetro) de la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite** para medir la luminosidad.

Physics Toolbox Sensor Suite



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es> 419

Lo ideal es disponer de una Tierra Paralela en condiciones, como la que tiene en préstamo el Centro de Recursos del Segrià en Lleida, pero también hace servicio un globo terráqueo cualquiera, por ejemplo uno inflable, o también una bola de porexpan o una pelota grande a las que se añade con pintura o cinta adhesiva el ecuador, los polos y algunos paralelos y meridianos. También se necesita un día soleado y salir al patio.



Otra alternativa es ir de excursión a lugares como Santander o Málaga ya que en ambas ciudades disponen de una tierra paralela al aire libre, una en los Jardines de Piquío y la otra en el patio del museo Principia.

Realización

Se coloca la tierra paralela en la boca de un cubo o un cilindro de cartulina más pequeña que la esfera, para que se sostenga, y con el punto de la tierra en el que nosotros estamos situados mirando hacia arriba. Si estamos en Lleida, la Lleida del globo debe estar en la posición más elevada. En el patio, al sol, la tierra paralela debe orientarse en la dirección norte-sur sobre una línea que habremos pintado previamente con tiza, orientándonos con una brújula. De esta manera nuestra tierra paralela sufre la misma insolación que la real.



Aunque la dirección norte-sur geográfica no coincide con la magnética, es suficiente la orientación con la brújula para los propósitos de esta experiencia. Como brújula se puede utilizar la que proporciona la misma aplicación Physics ToolBox.

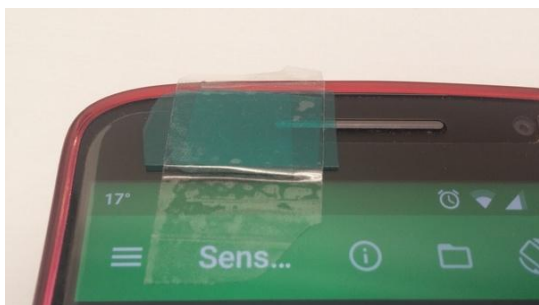
Ahora, con la aplicación del luxómetro abierta, se coloca el móvil en el punto de la tierra paralela en el que queramos medir la insolación y tangente a ella, y así se obtiene el mismo valor que se obtendría si se estuviera midiendo el dato en el lugar real de la Tierra.

Esta actividad es conveniente realizarla en las diferentes épocas del año a la misma hora y

comparar los resultados con la inclinación del Sol en el día.



Dependiendo de la sensibilidad del sensor del móvil será o no posible llegar a medir el valor de la iluminación que proporciona el sol directo al mediodía. En muchos casos el dispositivo solo podrá medir valores hasta 10.000 lx, por ejemplo, y en estas ocasiones se deberá superponer un filtro sobre el sensor para atenuar la intensidad de luz que incide. En consecuencia, después se deberán transformar los valores que se obtengan en el factor que corresponda a la atenuación.



Observaciones

* No padecen la misma insolación en un mismo día los diferentes puntos de la tierra, de la misma manera que para una localidad la insolación va variando según pasan las estaciones, y eso sin contar con los fenómenos meteorológicos. La inclinación de la Tierra respecto a su trayectoria alrededor del Sol y su posición relativa respecto a él son los responsables de estas variaciones.

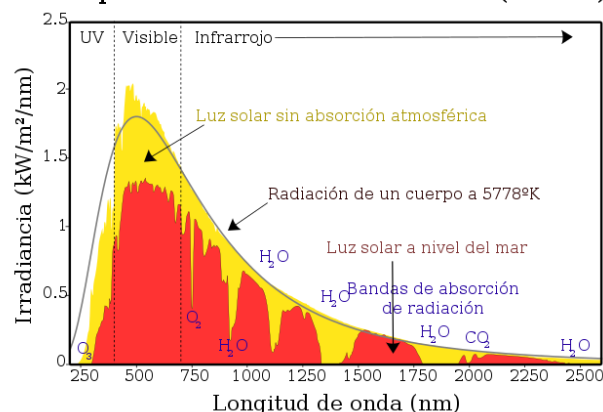
Las causas de estas diferencias de insolación así como del transcurso de las estaciones son difíciles de entender para la mayoría del alumnado, pero al menos con esta actividad quedan claras las diferencias en la energía del sol que incide en cada

lugar y se pueden relacionar con las temperaturas que se disfrutan.

* Otra actividad complementaria que se puede realizar consiste en comprobar cómo varía la sombra que hace un círculo de cartón perpendicular al Sol en una hoja de papel en función de la inclinación del papel, o cómo varía el valor que suministra el sensor de luz del teléfono en función de su inclinación respecto a la dirección con la que llegan los rayos solares.

* No es lo mismo la iluminación medida y la energía que llega del Sol, entre otras cosas porque los sensores de luz de los dispositivos móviles no son sensibles a todo el espectro de la luz proveniente del Sol, pero es evidente que existe una cierta proporcionalidad, por lo que en esta experiencia podemos hacer comparativas de la radiación solar en diferentes puntos de la Tierra y a diferente hora del día sin salir del patio de la escuela.

Espectro de la radiación solar (Tierra)



Solar spectrum, gráfica modificada de Nick84 (CC-BY-SA 3.0) via wikimedia commons

* Tradicionalmente había hecho este estudio con pequeñas placas solares conectadas a un polímetro. Como la potencia solar por metro cuadrado al mediodía y al solsticio de verano en Lleida es aproximadamente 1000 W/m^2 (la constante solar es de aproximadamente 1350 W/m^2 , según la NASA), se tenía que tapar un poco la plaqueta hasta que el multímetro indicara el 21 de junio un múltiplo o submúltiplo de 1000 y así el tester suministraba valores fácilmente comparables.

42 Estudio del albedo

Uno de los factores que influyen en el equilibrio térmico de la Tierra es el albedo de las diferentes superficies terrestres. En esta experiencia se propone comparar el albedo de diferentes superficies representativas de diferentes tipos de cobertura del suelo: nieve, agua, vegetación, arena, etc.

Aplicaciones y material a utilizar

Se puede usar el Sensor de luz (luxómetro) de la aplicación **Physics Toolbox Sensor Suite** para medir la luminosidad que reflejan diversas superficies.

Physics Toolbox Sensor Suite



https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419

La aplicación **Albedo: A Reflectance App**, realizada por miembros de la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad de Maine, es capaz de medir automáticamente el albedo de una superficie por relación a una tarjeta fotográfica de grises del 18%.

Albedo: A Reflectance App



<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.h2optics.albedo>

Una tarjeta de grises se puede comprar en tiendas de fotografía o por internet (< 10 €) o alternatively imprimir una en papel blanco mate.



Tarjeta de grises, modificada de Apostoloff (GNU General Public License)

Realización

El albedo (Wikipedia, 2018) es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre ella. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates. El albedo medio de la Tierra es del 37-39% de la radiación que proviene del Sol. Es adimensional y se mide en una escala de cero (absorción total) a uno (reflexión total).

Ejemplos de albedos

(Wikipedia, 2018)

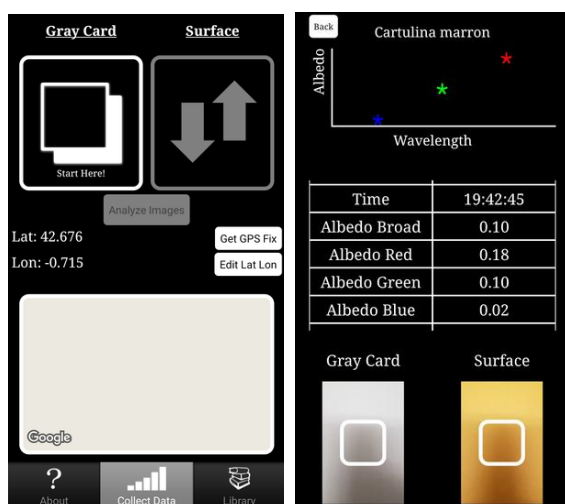
Tipo de superficie	Albedo Típico
Asfalto fresco	0,04
Océano abierto	0,06
Asfalto gastado	0,12
Bosque de coníferas	0,08 a 0,15
Árboles caducifolios	0,15 a 0,18
Suelo desnudo	0,17
Hierba verde	0,25
Arena del desierto	0,40
Hormigón nuevo	0,55
Hielo oceánico	0,5–0,7
Nieve fresca	0,80–0,90

Los albedos de las superficies son parámetros importantes que utilizan los científicos ambientales para comprender cómo las diferentes superficies y sustancias interactúan con la luz.

Para medir el albedo de una superficie con el Sensor de luz de Physics Toolbox lo que se ha de hacer es medir la luminosidad que llega perpendicularmente a una superficie y después girar el teléfono y medir con la misma inclinación la luminosidad que refleja la superficie. Si se dividen ambos valores se obtiene el valor del albedo.

Se puede usar una aplicación más específica, como es Albedo: A Reflectance App, que no solo calcula automáticamente el albedo sino que además realiza un análisis por separado de la reflectividad específica de las porciones roja, azul y verde de la luz.

Para utilizar la aplicación se necesita una tarjeta de grises de 18% a la que se realiza una fotografía desde la misma aplicación Albedo. A continuación se realiza otra fotografía en las mismas condiciones que a la tarjeta de la superficie de la que se quiera conocer el albedo. Si se considera que ambas fotografías son suficientemente buenas se pulsa en analizar y automáticamente aparecen los valores del albedo de la superficie.



A diferencia de Physics Toolbox que utiliza el sensor de luz, Albedo utiliza la cámara fotográfica como fotómetro. La intensidad de la luz reflejada desde la superficie se normaliza para cualquier iluminación ambiental al utilizar la imagen de la

tarjeta gris. De esta manera el valor final es una medida casi independiente de la iluminación a la que está sometida la superficie.

En la tabla siguiente indico alguno de los valores que he obtenido con las dos aplicaciones propuestas. Los valores son del mismo orden pero siempre salen más elevados los de Physics Toolbox, y ambos más bajos de los promedios que aparecen en la bibliografía.

Algunos valores de albedo de diferentes superficies medidos con		
Tipo de superficie	Physics Toolbox Sensor Suite	Albedo: A reflectance App
Arena húmeda	0,11	0,08
Cemento	0,16	0,06
Asfalto seco	0,09	0,05
Asfalto húmedo	0,04	0,01
Césped	0,05	0,01
Hiedra	0,08	0,02

Observaciones

* Dado que un albedo alto de la superficie terrestre y marítima potencia el enfriamiento el planeta, ya que la radiación solar absorbida y aprovechada para calentarlo es mínima, y que por el contrario un albedo bajo tiende a calentar la tierra porque la mayor parte de la luz es absorbida, estudiar el albedo de los diferentes tipos de cobertura del suelo puede ser una magnífica oportunidad para discutir con el alumnado del Calentamiento global y de los factores que influyen en el equilibrio térmico de la Tierra.

También se puede analizar con los estudiantes cómo se podría influir en el calentamiento o enfriamiento de la Tierra el que se cambiara la cobertura del suelo por otra de mayor o menor albedo, como puede ser aumentar la superficie de arbolado o pintar las carreteras de blanco.

Referencias

Alemany, C. y Ros, R., 2011, *Tierra Paralela*, EUNAW. Libro disponible en línea

<https://es.unawe.org/static/archives/books/pdf/tierraparalela.pdf>

Alonso, M. y Finn, E.J., 1976, *Física. Volumen I: Mecánica*, Fondo Educativo Interamericano. Madrid. Libro disponible en línea <https://archive.org/details/FisicaVollMecanicaAlonsoFinn>

Aparicio, A. y Lozano, M.T., 2002, *Energia dissipada en el bot d'una pilota*, Protocol del CDEC. Documento disponible en línea

http://srvcnpps.xtec.cat/cdec/images/stories/WEB_antiga/recursos/pdf/nntt_fiq/pdf_fisica/dissipada.pdf

Aparicio, A. y Lozano, M.T., 2003, *Moviment de caiguda d'un regle*. Protocol del CDEC. Documento disponible en línea

http://srvcnpps.xtec.cat/cdec/images/stories/WEB_antiga/recursos/pdf/nntt_fiq/pdf_fisica/regle.pdf

Casellas, T., 2013, Smartphones... smartphysica, *Revista recursos de Física*, n 12, Documento disponible en línea http://www.rfisica.cat/num/num12/article_num=27&pos=3&total=8&art=137.html

CDEC, 2004, *Tub de Kundt*. Documento disponible en línea

<https://experimentacioliure.files.wordpress.com/2016/12/kundt.pdf>

Consejo de Seguridad Nuclear, *Vigilancia radiológica ambiental en España*, Disponible en línea

<https://www.csn.es/sistema-de-vigilancia-ambiental-en-espana>

Esteban, E., 2014, *El globo terráqueo, una bola casi mágica*, Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, APEA. Libro disponible en línea <https://www.apea.es/wp-content/uploads/28-El-Globo-Terr%C3%A1queo-una-Bola-casi-M%C3%A1gica.pdf>

Franco, A., 2015, *Curso Interactivo de Física en Internet*, Disponible en línea

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/>

Franco, A., 2015a, Movimiento ondulatorio. Efecto Doppler acústico. *Curso Interactivo de Física en Internet*, Disponible en línea <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/ondas/doppler/doppler.html>

Franco, A., 2015b, Movimiento ondulatorio. Modos de vibración en tubos abiertos o cerrados. *Curso Interactivo de Física en Internet*, Disponible en línea

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/ondas/tubos/tubos.html>

Franco, A., 2015c, Movimiento ondulatorio. Medida de la velocidad de las ondas longitudinales. *Curso Interactivo de Física en Internet*, Disponible en línea

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/ondas/kundt/kundt.html>

Franco, A., 2015d, Movimiento ondulatorio. El resonador de Helmholtz. *Curso Interactivo de Física en Internet*, Disponible en línea <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/ondas/botella/botella.html>

Franco, A., 2015e, Movimiento ondulatorio. Energía transportada por un movimiento ondulatorio armónico. *Curso Interactivo de Física en Internet*, Disponible en línea

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/ondas/tipos_ondas/energia.html

Franco, A., 2015f, Campo magnético producido por un imán. *Curso Interactivo de Física en Internet*, Disponible en línea <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/iman/iman.html>

Giancoli, D.C., 2008a, *Física Para Ciencias E Ingeniería*. Volumen I. 4ta Edición. Pearson Educación de México. Libro disponible en línea <https://archive.org/details/FsicaParaCienciasEIngeniera.VolumenIDouglasC.Giancoli4taEdicin>

Giancoli, D.C., 2008b, *Física Para Ciencias E Ingeniería*. Volumen II. 4ta Edición. Pearson Educación de México. Libro disponible en línea <https://archive.org/details/FsicaParaCienciasEIngeniera.VolumenIIDouglasC.Giancoli4taEdicin>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015, *Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos*. Madrid. Libro disponible en línea http://www.aepsal.com/wp-content/uploads/2016/04/Iluminacion-en-el-puesto-de-trabajo_red.pdf

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2001, *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros Docentes*. Madrid. Libro disponible en línea https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_centros_docentes_01_6803da23.pdf

Keuwlsoft, 2018, Function Generator. Disponible en línea <http://www.keuwl.com/FunctionGenerator/>

Montangero, M. y otros, 2016, Smartphones en el laboratorio, ¿es muy azul el azul?, *Science in School*. The European Journal for Science Teachers. Disponible en línea <https://www.scienceinschool.org/es/content/smartphones-en-el-laboratorio-%C2%BFes-muy-azul-el-azul>

Monteiro, M., 2016, *Tensión superficial en un globo de goma analizada mediante Smartphone*. Disponible en línea <http://fisicamartin.blogspot.com/2016/11/tension-superficial-en-un-globo-de-goma.html>

Monteiro, M. y otros, 2017, The Polarization of Light and Malus' Law Using Smartphones, *The Physics Teacher*, 55(5):264-266. Disponible en línea https://www.researchgate.net/publication/316364479_The_Polarization_of_Light_and_Malus'_Law_Using_Smartphones

Muller, I. y Strehlow, P., 2004, *Rubber and rubber balloons. Paradigms of Thermodynamics*, Lect. Notes Phys. 637 (Springer-Verlag Berlin Heidelberg), DOI 10.1007/b93853. Disponible en línea <https://doi-nb.info/972144528/34>

Muñoz, X. y Casillas, T., 2011, Interferències sonores, *Recursos de Física*, número 7, pp 3-9. Disponible en línea http://www.rrfisica.cat/num/num7/article_num=22&pos=3&total=9&art=84.html

Nave, C.R. y Olmo, M., 2010, *Hyperphysics*. Disponible en línea <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hph.html>

Nave, C.R. y Olmo, M., 2010b, Silbato de Policía de Londres. *Hyperphysics*. Disponible en línea <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Sound/london.html>

Osborne, W.A. y Sutherland, W., 1909, *The elasticity of rubber balloons and hollow viscera*, Proceedings of the Royal Society of London, Series B, 81 (1909) 485–499. Disponible en línea <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspb.1909.0047>

Ramírez, L., 2005, *L'espectre d'hydrogen y la constant de Rydberg*, Experimentació Lliure. Disponible en http://www.xtec.cat/%7Ejramire7/Calcul_magnituds/Rydberg/Determinacio_constant_rydberg.pdf

- Ramírez, L., 2009, *Difracció, interferència y espectroscòpia visible I*, Experimentació Lliure. Disponible en línea en <https://experimentaciolliure.wordpress.com/tallers/difraccio-interferencia-y-espectroscopia-visible-y/>
- Ramírez, L., 2011, *Breu introducció al SciDavis*. Experimentació Lliure. Documento disponible en línea: <https://experimentaciolliure.files.wordpress.com/2011/02/breu-introduccic3b3-a-scidavis.pdf>
- Ramírez, L., 2013, *Oïda, caiguda lliure*, Experimentació Lliure. Disponible en línea en <https://experimentaciolliure.wordpress.com/2013/12/01/oida-caiguda-lliure/>
- Ramírez, L., 2016 – 2019, *Experiments de ciències amb tecnologia mòbil*, Experimentació Lliure. Disponible en línea en <https://experimentaciolliure.wordpress.com/experimentacio-assistida-per-ordinador-exao/experiments-de-ciencies-amb-tecnologia-mobil/>
- Ramírez, L., Codina, L. y Sánchez, M.C., 2004, *Electromagnetisme*, Departament d'Educació. Generalitat de Catalunya. Documento disponible en línea: <http://apliense.xtec.cat/arc/node/30021>
- Rolf-Dieter Klein, 2018, RadioactivityCounter Data, Disponible en línea http://www.hotray-info.de/html/radioa_data.html
- SEIC-Epson, 2018, Gyro sensors - How they work and what's ahead, Disponible en línea en https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/
- Spectralworkbench, 2018, *Spectrometry*. Construir o comprar un espectroscopio para el móvil. Disponible en línea en Public Lab <https://publiclab.org/wiki/spectrometry>
- Steele, Gregor, 2015, *VidAnalysis: Howto*. Documento disponible en línea: <http://vidanalysis.com/howto>
- Unesco, 1973, *Nuevo manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*. Unesco, París. Impreso por Editorial Sudamericana, Buenos Aires. Libro disponible en línea https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000005641_spa
- Vieiras, L.P. y otros, 2014, Demonstração da lei do inverso do quadrado com o auxílio de um tablet/Smartphone. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 36, no. 3. Documento disponible en línea http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172014000300017
- Warren, J., 2017, *Build a papercraft spectrometer for your phone*, Public Lab. Disponible en línea <https://publiclab.org/notes/warren/11-30-2017/build-a-papercraft-spectrometer-for-your-phone-version-2-0>
- Warren, J., 2016, *Calibrate your spectrometer in Spectral Workbench*, Public Lab. Disponible en línea <https://publiclab.org/notes/warren/09-01-2016/calibrating-your-spectrometer-in-spectral-workbench>
- Wikipedia, 2018, Albedo, Disponible en línea <https://es.wikipedia.org/wiki/Albedo>
- Wisman, R. y Forinash, K., 2013, *Medida directa de gravedad de una masa cayendo*. Documento disponible en línea <http://pages.iu.edu/~kforinas/K/WebUses/pdf/MasaCayendo.pdf>
- Wisman, R. y Forinash, K., 2013a, *Manual de construcción de fotopuerta y de la aplicación Mobile Science AudioTime+*. Documento disponible en línea <http://pages.iu.edu/~kforinas/MobileScience/AudioTimePlus/AudioTime+.htm>
- Wisman, R. y Forinash, K., 2013b, *Aceleración terrestre: Introducción a las fotopuertas*. Documento disponible en línea <http://pages.iu.edu/~kforinas/K/WebUses/pdf/CaidadePlexiglass.pdf>

Wisman, R. y Forinash, K., 2013c, *Aceleración en un plano inclinado usando fotopuertas*. Documento disponible en línea <http://pages.iu.edu/~kforinas/K/WebUses/pdf/PlanoInclinado.pdf>

Wisman, R. y Forinash, K., 2013d, *El acelerómetro*. Documento disponible en línea <http://pages.iu.edu/~kforinas/K/WebUses/pdf/Acelerometro.pdf>

Wisman, R. y Forinash, K., 2013e, *Coeficiente de restitución*. Documento disponible en línea <http://pages.iu.edu/~kforinas/K/WebUses/pdf/CoeficientedeRestitucion.pdf>

Glosario

- aceleración, 49, 51
 de arrancada, 66
 de arrancada y de frenada, 91
 de caída, 49
 de la gravedad, 42, 59, 73, 77
 máxima, 79
 aceleración normal, 55, 73
 aceleración tangencial, 73
 acelerómetro, 18
ActionDirector, 29
Advanced Spectrum Analyzer PRO, 30
 afinación de instrumentos musicales, 113
 albedo, 149
Albedo: A Reflectance App, 29
 altavoces, 19, 25, 103
 amplitud de onda, 112
 análisis de Fourier, 48, 99
 análisis TTF, 48
 armónico fundamental, 99
 armónicos, 103
 ascensor, 65, 89
 astronomía, 147
 audiometría, 108
AudioTime+, 29

 barómetro, 23, 89
 básquet, 44
 batidos sonoros, 112
Beidou, 21
 brújula, 135, 137

 cable OTG, 37
 caída, 49
 caída libre, 42, 44, 58
 calculadora, 30
 Calentamiento global, 150
cámara, 33
 cámara fotográfica, 19
 campo magnético, 137, 139
 campo magnético terrestre, 135
 cantidad de movimiento, 67

 choque, 67
 choque, fuerzas, 63

Cinética química, 45
 coeficiente
 de amortiguamiento, 81
 de restitución, 67
 de restitución de diversos materiales, 68
 de rozamiento dinámico, 62
 de rozamiento estático, 61
 colisión perfectamente elástica, 67
 colofonia, 98
 color de los objetos, 124
Color grab, 31
Color Mixer, 31
 color, percepción de, 125
Colores, 33
 colorímetro, 126
 composición de la luz, 119
 condensador electret, 22
 constante elástica, 79
 corriente eléctrica, 137
cronómetro, 31
 cuerpos celestes, 145
Curbe Fitting Tool, 31

 decibelio, 94
 declinación magnética, 135
 densidad, 85
 diapasón, 101, 112
 dispositivo electromecánico, 20

Eclipse Calculator, 32
 eclipses, 145
 eco, 96
 efecto Doppler, 46
 efecto Hall, 21
 elongación, 79, 112
 emisión en estéreo, 112
 emisor de radiación infrarroja, 19
 energía cinética, 67, 71, 79
 energía potencial, 79
 energía potencial gravitatoria, 71
 energía, pérdida, 67
 equilibrio térmico de la Tierra, 149
 escala musical, 106
 espectro, 119, 120, 131
 espectroscopio, 25, 131
 estrellas, 145

 filtro de color, 119
 filtro polarizador, 120
 flash, 21
 flautas de Pan, 104
 flujo sanguíneo, 126
 foco de luz, 117
 fotocélula, 25, 49, 51
 fotodiodo, 23
 fotoelasticidad, 122
 fotómetro, 116, 117
 fotopuerta, 25
 frecuencia, 46, 101, 106, 108, 112
 frecuencia del batido, 112
 frecuencia fundamental, 100
 frente de onda, 117
 fuerza de recuperación, 81
 fuerza de rozamiento dinámica, 61
 fuerza de rozamiento estática, 60
Function Generator, 32

 Galileo, sistema, 21
Gauss meter, 32
 Geiger, contador, 143
 generador de funciones, 102
 generador de tonos, 47, 110
 giroscopio, 20
 globo de goma, 86
Glonass, 21
 goma elástica, 80
GoPhoton!, 33
 GPS, 20, 41

Heart Rate, 33
 histéresis, 81

- HSV, 126
- iluminación, 115
- imán, 139
- impulso, 64
- inclinación de la Tierra, 148
- inclinación magnética, 135
- inclinómetro, 19
- intensidad de la fuente de luz, 117
- intensidad sonora, 94
- interferencia destructiva, 122
- interferencias constructivas o destructivas, 110
- Lab trazar y ajuste / Lab plot n fit**, 33
- Lambert, ley de, 117
- linterna, 21
- longitud de onda, 99, 131
- longitud del péndulo, 72
- luminosidad, 116, 147
- lupa, 27, 127
- lux, 115
- luz estroboscópica, 21
- luz infrarroja, 23
- luz polarizada, 120
- magnetómetro, 21
- Malus, ley de, 120
- manómetro, 84
- máquina de Atwood, 77
- Media Converter**, 33
- mezcla aditiva y substractiva, 127
- micrófono, 22, 27
- microscopio, 27
- Mostrador de radioactividad**, 34
- movimiento
- circular, 53, 77
 - uniforme, 40
 - uniformemente acelerado, 42
 - vibratorio, 78
 - vibratorio armónico simple, 78
- muelle, 78
- nivel de intensidad sonora, 94
- nivel mínimo de audición, 94
- nodo, 100
- Oesrted, experimento de, 137
- onda
- estacionaria, 100
 - transversal, 120
- ondas
- electromagnéticas, 120
 - incidentes y reflejadas, 104
- orientación magnética, 135
- Oruxmaps**, 34
- oscilaciones, 78
- pantalla, 22
- péndulo, 71, 76
- período de un, 73, 76
 - simple, 77
- periodo, 79, 112
- Phyphox**, 34
- Physics Toolbox**, 34
- planetas, 145
- plano inclinado, 51
- polarización, plano de, 120
- polarizador, 120
- potencia luminosa, 116
- potencia solar, 148
- presión, 86, 89
- atmosférica, 85
 - en el seno de los fluidos, 84
- primer armónico, 100
- pulsaciones sanguíneas, 129
- puntero láser, 49
- radar, 113
- radiación
- beta y gamma, 143
 - del Sol, 149
 - ionizante, 143
 - solar, 147
- radio del globo, 88
- radioactividad, 143
- reacciones químicas, 45
- RealCalc**, 30
- red de difracción, 131
- reloj interno, 22
- resonador de Helmholtz, 106
- resonancia, 102, 104
- resonar, 107
- RGB, 126
- rozamiento, 60
- estático, 60
- ruido ambiental, 94
- SciDavis**, 35
- Science Journal**, 35
- sensor
- barométrico, 84
 - de luz, 23, 77
 - de proximidad, 24, 76
 - giroscópico, 53
 - Hall, 139
- Sky Map**, 36
- Smart Transportador**, 35
- sonidos agudos, 108
- sonidos graves, 108
- sonómetro, 94
- SpectralWorkbench**, 36
- Spectrum Analyser**, 36
- SPL Meter**, 36
- Stevin
- ley de, 84
- Teamviewer**, 36
- tensiones estructurales, 120
- termómetro, 23
- tierra paralela, 147
- tono, 102, 106
- Tracker**, 37
- tránsitos planetarios, 145
- tubo de Kundt, 102
- tubófono, 105
- umbral de audición, 109
- variación de frecuencia, 46
- VCL**, 37
- velocidad, 41
- angular, 53
 - del ascensor, 90
 - del sonido, 96, 98, 101
 - medida de, 46
- vibración longitudinal, 100
- Vidanalysis**, 37
- vientre, 100
- volumen, 108

Vale

