

Con la Física a todas partes: experiencias utilizando el teléfono inteligente.

Martín Monteiro^(a), Cecilia Cabeza^(b) and Arturo C. Martí^(b)

^(a)Universidad ORT Uruguay

Email: fisica.martin@gmail.com

*^(b)Instituto de Física, Facultad de Ciencias
Universidad de la República, Uruguay.*

Email: marti@fisica.edu.uy

Resumen

En este trabajo se proponen un conjunto de experiencias de Física orientadas a enseñanza media y primeros años de la enseñanza superior que se realizan gracias al empleo de teléfonos inteligentes. Estos dispositivos de uso sumamente extendido en todo el mundo suelen contar con un conjunto de sensores: aceleración, rotación, sonido, luminosidad, proximidad, campo magnético, entre otros, que los transforman en versátiles instrumentos de medida. Los campos de la Física que abarcan estas experiencias son muy amplios, destacándose mecánica, electromagnetismo, oscilaciones, ondas y óptica. El empleo de dispositivos familiares a los estudiantes permite acortar la brecha entre la Ciencia como un objeto abstracto de estudio reservado para unos pocos y la Ciencia como una apasionante aventura presente en todos los aspectos de la vida.

1. El uso de los teléfonos inteligentes como instrumento de medida.

El uso de teléfonos inteligentes y otros dispositivos similares se ha extendido vertiginosamente en los últimos años en todo el mundo. Esta revolución impactó también en los laboratorios donde diversas experiencias se ven facilitadas por el uso de los sensores con que habitualmente cuentan estos dispositivos. Recientemente, en varios artículos [1-16], el empleo de teléfonos inteligentes ha sido propuesto en varias experiencias que abarcan temáticas de mecánica, electromagnetismo, óptica, oscilaciones y ondas entre otras.

Varios de los trabajos citados anteriormente se centran en experiencias de mecánica, medida de la aceleración gravitatoria, energía elástica, péndulos simple, físico, elástico y de torsión. En un trabajo muy reciente [9], se estudia el momento angular de una pequeña mesa giratoria rotando en un plano horizontal. En el transcurso de la experiencia reportada, se colocan repentinamente masas a diferentes distancias del centro de rotación y se consideran las variaciones en el momento angular y en la energía cinética. Un paso adelante en el aprovechamiento de estos dispositivos se presenta con la posibilidad de usar simultáneamente los sensores de aceleración y rotación midiendo dos coordenadas generalizadas independientes como proponen los autores de este trabajo en las referencias [10-12]. Esta medida simultánea, permite, en el caso relativamente más sencillo de sistemas con un grado de libertad, la obtención de dos coordenadas independientes y de esta forma obtener trayectorias en el espacio de fases.

Las experiencias relacionadas con oscilaciones y ondas también pueden ser implementadas mediante el teléfono inteligente. En este campo se han propuesto experiencias sobre efecto Doppler y velocidad del sonido. El electromagnetismo no queda excluido, por ejemplo se pueden usar los sensores de campo magnético para estudiar el campo generado en un solenoide. También es posible convertir el teléfono inteligente en un pequeño osciloscopio usando la aplicación adecuada. En este caso en particular debemos tomar precauciones de no introducir tensiones superiores a las permitidas para evitar *quemar* el celular. Otro interesante experimento propuesto en la Ref. [13] refiere la composición y visión de los colores.

Un sensor es un dispositivo capaz de medir una variable física o química y transformarla en una variable eléctrica. Los sensores presentes en los teléfonos inteligentes pueden ser de muy diversa naturaleza. Dado que la definición de sensor es muy general podemos pensar incluso el micrófono o la cámara digital como una clase particular de sensor. Una lista de los sensores más comunes y útiles para nuestros propósitos incluye a:

- sensor de aceleración
- sensor de rotación o giróscopo
- micrófono
- sensor de campo magnético
- sensor de luz ambiente
- sensor de proximidad,

pero existen otros como ser sensores de humedad, temperatura o presión.

Diversos programas o aplicaciones permiten registrar los valores medidos por los sensores. En particular podemos mencionar *Androsensor* [17], otras posibilidades disponibles son Sensor Kinetics, Z-Device Test. Habitualmente los sensores miden todas las componentes de las magnitudes vectoriales según los 3 ejes, x,y,z orientados como si estuvieran *dibujados* sobre la pantalla del celular. Una vez registrados los datos es posible descargarlos en una computadora y analizarlos utilizando un programa apropiado.

2. Algunas experiencias

En esta sección se reportan algunas experiencias que pueden ser realizadas usando la metodología expuesta. La lista no es exhaustiva pues pensamos que dentro de las temáticas exploradas la gran mayoría de las experiencias puede ser adaptada al uso de teléfonos inteligentes. Como recursos bibliográficos destacamos la columna que aparece mensualmente en la revista *The Physics Teacher* denominada *iPhysLab*. También se han publicado artículos relacionados con teléfono inteligentes en el *American Journal of Physics* y en el *European Journal of Physics* entre otras revistas.

2.1 Determinación de la aceleración de la gravedad.

El sensor de aceleración o acelerómetro es uno de los de mayor utilidad en los experimentos de mecánica [1-2,7-8]. En líneas generales podemos decir que un sensor de aceleración es una masa montada sobre un sistema de resortes tales que si la masa se acelera en una dirección uno de los resortes se comprime. A partir de la variación en la longitud del resorte, luego de su calibración, se puede determinar la

aceleración. Estrictamente estos sensores no miden aceleración sino fuerzas. En la práctica, los teléfonos inteligentes usan sistemas más sofisticados basados en cerámicas piezoeléctricas o capacitores variables.

Para determinar la aceleración de la gravedad, una posibilidad sencilla es dejar caer el celular como se ilustra en la figura 1 (asegurándonos que cae sobre una superficie lo suficientemente blanda para que no se rompa) y registrar la aceleración según el eje vertical. Durante el lapso de caída libre el acelerómetro registrara una aceleración debida al campo gravitatorio. Luego, midiendo este lapso de tiempo se puede determinar el tiempo de caída y usando la distancia recorrida, el valor correspondiente de aceleración.



Fig. 1. Lanzamiento del celular en la experiencia de caída libre.

2.2 Efecto Doppler

El efecto Doppler recibe su nombre de Christian Andreas Doppler quién demostró en 1842 que cuando un observador en reposo recibe una señal acústica proveniente de una fuente en movimiento la frecuencia de la señal recibida es diferente de la frecuencia de las ondas emitidas por el emisor. Este corrimiento en frecuencia depende de la velocidad relativa entre el emisor y el receptor.

Este fenómeno puede ser estudiado usando el teléfono inteligente [1]. Comenzamos por registrar la señal emitida por una fuente de sonido de frecuencia conocida que se encuentra en movimiento respecto a un observador en reposo. La fuente de sonido puede ser un segundo teléfono inteligente sobre una plataforma giratoria, o un juguete, una bicicleta o cualquier otro medio de transporte. El efecto Doppler se puede analizar también sin necesidad de bajar los datos del celular, por ejemplo con un espectrograma como el que hace la App AndroSpectro. De esta forma se puede visualizar en forma directa sobre la pantalla del celular la variación de frecuencia en función del tiempo, por ejemplo la señal de una fuente de frecuencia pura que se encuentra girando.

Otra alternativa es bajar los datos del celular a una computadora y analizar las señales obtenida utilizando el programa *audacity* u otro similar disponible en internet. En

forma complementaria se puede registrar con la cámara digital el movimiento de la fuente de sonido, calcular su velocidad y compararla con los resultados obtenidos a partir del corrimiento Doppler en la frecuencia.

También es posible estimar la aceleración gravitatoria mediante un estudio del efecto Doppler [1]. Para ello, utilizamos dos celulares (o un celular y una computadora con micrófono) a modo de emisor y receptor respectivamente, y estimaremos la aceleración gravitatoria a partir del corrimiento Doppler de la frecuencia recibida.

2.3. Gravedad cero.

¡Si, aunque usted no lo crea es posible hacer un experimento con *gravedad cero*! ¿Cómo se consigue el efecto de *ingravidez* en la Tierra? ¿Cómo hacemos para que los objetos *no pesen*? En realidad es muy fácil si aplicamos la física. No vamos a hacer que no actúe la gravedad, más bien haremos que el peso sea nulo durante unos instantes. En la figura 2 se muestra un ejemplo de esta situación. Este fenómeno de ingravidez se puede relacionar con los vuelos zero-g (trayectoria parabólica controlada) que se organizan para el entrenamiento de astronautas y de modo un poco más físico con el principio de equivalencia, la imposibilidad de diferenciar un campo gravitatorio de un sistema acelerado.



Fig. 2. Voluntario a punto de saltar al *vacío* provisto de un celular.

Es realmente llamativo poder vincular un concepto tan abstracto con un aparato cotidiano. Con este objetivo es posible dejar caer desde una cierta altura una masa unida a un resorte. La masa justamente puede ser el teléfono celular. Otra alternativa es lanzar el celular en trayectoria parabólica y verificar que efectivamente los tres sensores de aceleración dan prácticamente cero durante todo el vuelo. En este caso las medidas resultan algo más ruidosas y se detecta una cierta aceleración debido al giro del celular durante el vuelo.

2.4 Masas y resortes.

La constante elástica de un resorte se puede obtener fácilmente utilizando el teléfono inteligente. Un método será utilizando el acelerómetro del celular y la segunda ley de Newton, el otro método será utilizando un video y la relación Impulso-Momento [4-5]. Dentro de esta temática cabe mencionar el estudio de osciladores acoplados con y sin amortiguamiento [14-16] estudiados tanto con sensores de aceleración como con sensores de luz ambiente.

2.5 Movimiento circular

En esta experiencia se estudia el movimiento circular de un objeto. Para ello se utiliza el "teléfono inteligente" como cuerpo y se registrará el movimiento utilizando los sensores del acelerómetro [6] y del giróscopo [10] (figura 3).



Fig. 3. Plataforma giratoria para el estudio del movimiento circular.

Con los datos registrados se puede calcular la velocidad angular, el período del movimiento, la aceleración centrípeta y la variación del ángulo en función del tiempo. En esta práctica se verifica la relación lineal entre la velocidad tangencial y la velocidad angular. También es factible trabajar en las relaciones de conservación del momento angular y de la energía cinética [9].

2.6 Péndulo simple

En esta experiencia se estudia la dependencia del período de oscilación de un péndulo en relación a diferentes parámetros que pueden ser modificados, como la amplitud inicial de las oscilaciones o el largo del hilo [3]. Se puede realizar la experiencia al menos por dos procedimientos diferentes. En un caso, se utilizará la cámara y se analizarán los resultados analizando el vídeo. En una segunda instancia, se medirá directamente con el uso de los sensores de rotación y aceleración de un celular.

2.7 El péndulo físico

Un sistema físico paradigmático como es el péndulo físico se estudia usando los sensores de aceleración y rotación disponibles en los teléfonos inteligentes (*smart-phones*) y en otros dispositivos como *lpads*, o *tablets* [10]. En nuestra experiencia un teléfono inteligente se fija en la parte exterior de una rueda de bicicleta y se pone en movimiento tanto en régimen de rotación (dando vueltas completas en una dirección) como de oscilación ya sea de pequeños o de grandes ángulos. Los montajes experimentales se indican en las figuras 4 y 5.



Fig. 4. Montaje experimental para el estudio del péndulo físico.

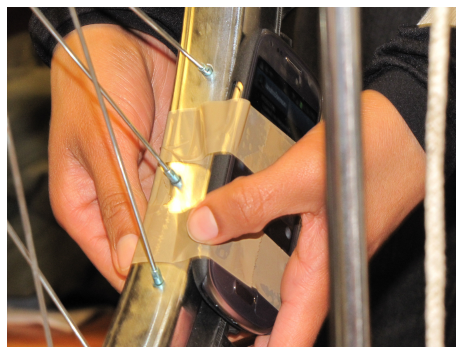


Fig. 5. Alternativa de montaje experimental para el péndulo físico.

Gracias a los sensores se obtienen medidas de aceleración y velocidad angular según diferentes ejes solidarios con el teléfono. El uso simultáneo de estos sensores permite además obtener trayectorias en el espacio de fases y visualizar las diferentes características del movimiento.

2.8 Péndulo de torsión.

El péndulo de torsión consiste en un hilo o alambre de sección recta circular

suspendido verticalmente, con su extremo superior fijo y de cuyo extremo inferior se cuelga una barra u otro cuerpo con un cierto momento de inercia. En la figura 6 se muestra el montaje experimental correspondiente. Se estudia, por ejemplo, la dependencia del período de oscilación del péndulo de torsión con el momento de inercia de la barra.



Fig. 6. Péndulo de torsión sujeto al celular.

2.9 Péndulo elástico

El péndulo elástico consiste en una masa sujeta a un resorte que se puede mover en un plano vertical. Un estudio muy preliminar fue presentado en la Ref. [4]. Este sistema es más complicado que los propuestos anteriormente pues tiene 2 grados de libertad (en otras palabras se precisan dos coordenadas para describir la configuración del sistema). Sus ecuaciones de movimiento no son fáciles de resolver pues es un ejemplo de sistema *no integrable*. Es decir, no es posible encontrar en general las soluciones generales a las ecuaciones de movimiento (también conocidas como leyes horarias). La dinámica del sistema para valores suficientemente grandes de la energía es *caótica*, es decir presenta sensibilidad a las condiciones iniciales (trayectorias con condiciones iniciales arbitrariamente próximas divergen exponencialmente).

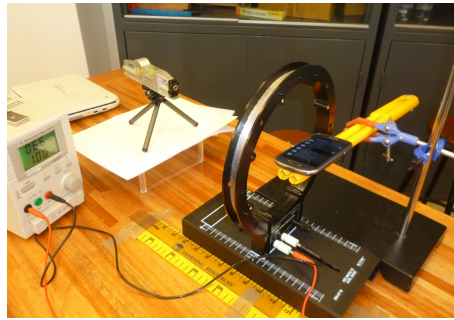
2.10 Velocidad del sonido

La velocidad de sonido es la velocidad a la que se propaga una onda mecánica en un medio elástico dado. En esta experiencia calcularemos la velocidad del sonido en el aire. Una primera alternativa medir con un celular puesto en la boca de un tubo largo. Se produce un pulso sonoro y en la grabación queda registrada el pulso original y su reflejo. Para estimar la velocidad del sonido, utilizaremos dos micrófonos en un cable "Y" (dos interfaces mono en un conector estéreo) y una computadora. En este montaje no se pueden utilizar los celulares por no tener entrada estéreo de micrófono.

2.11 Campo Magnético

Es posible estudiar cómo varía el campo magnético generado por una espira al variar distintos parámetros del sistema. El campo magnético puede ser generado de dos formas: o bien con cargas eléctricas en movimiento o bien con un campo eléctrico variable. En la práctica es más sencillo generar los campos magnéticos estudiados por medio de corrientes eléctricas como se muestra en la figura 7. En este caso diseñamos la experiencia para poder medir el campo magnético generado por una espira, variamos los distintos parámetros del sistema (distancia al centro, intensidad) y estudiamos como varía el campo magnético.

Fig. 7. Montaje experimental de la medida de campo magnético. Se aprecia el celular y



las bobinas que producen el campo magnético.

3. Perspectivas

Para concluir señalamos que el uso de sensores con que cuentan los teléfonos inteligentes permiten un espectro amplio de medidas aplicables en distintas experiencias de mecánica, óptica, ondas y electromagnetismo. Las posibles experiencias se multiplican si consideramos el uso simultáneo de sensores de aceleración y rotación que permite, entre otros aspectos, acceder al espacio de fases y obtener una representación física de un concepto abstracto. El potencial de estos dispositivos se multiplica si observamos que el precio de estos aparatos disminuye y su disponibilidad crece exponencialmente en todo el mundo. El uso de dispositivos habituales para los estudiantes secundarios, como son los teléfonos inteligentes, contribuye a reducir la brecha en la Ciencia como práctica inaccesible que se desarrolla en ámbitos especiales y la experiencia cotidiana.

Agradecimientos

Agradecemos a todos los participantes del *Taller de Física con el teléfono inteligente* y en particular a los profesores Christian Suárez, Robert Alvez, Vilma Patrón, Gerardo Rodríguez, Ivanna Chagas y Fátima Leiva por su asistencia en algunas de las fotos presentadas. Este taller se realizó gracias al apoyo financiero y logístico de PROCENCIA (PEDECIBA-ANEP) y de la Escuela Los Arrayanes de CETP-UTU (ANEP).

Referencias:

- [1] Patrik Vogt, Jochen Kuhn, and Sebastian Müller, "Experiments Using Cell Phones in Physics Classroom Education: The Computer-Aided g Determination," *Phys. Teach.* 49, 383 (Sept. 2011).
- [2] Patrik Vogt and Jochen Kuhn, "Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor," *Phys. Teach.* 50, 182 (March 2012).
- [3] Patrik Vogt and Jochen Kuhn, "Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor," *Phys. Teach.* 50, 439-440 (Oct. 2012).
- [4] Jochen Kuhn and Patrik Vogt, "Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor," *Phys. Teach.* 50, 504 (Nov. 2012).
- [5] Jefferson W. Streepey "Using iPads to illustrate the impulse-momentum relationship," *Phys. Teach.* 51, 54 (Jan. 2013).
- [6] Patrik Vogt and Jochen Kuhn "Analyzing radial acceleration with a smartphone

acceleration sensor," Phys. Teach. 51, 182 (March 2013).

[7] Jochen Kuhn, Patrik Vogt, "Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices," Eur. J. Phys. Educ. 4, 16 (2013).

[8] Joel Chevrier, Laya Madani, Simon Ledenmat, and Ahmad Bsiesy, "Teaching classical mechanics using smartphones," Phys. Teach. 51, 376 (Sept. 2013).

[9] Asif Shakur and Taylor Sinatra, "Angular momentum," Phys. Teach. 51, 564 (Dic. 2013).

[10] M. Monteiro, C. Cabeza, A.C. Martí, "Exploring phase space using smartphone acceleration and rotation sensors simultaneously," European Journal of Physics, 35(4):045013, 2014.

[11] M. Monteiro, C. Cabeza, and A. C. Martí, "Rotational energy in a physical pendulum," The Physics Teacher, 52:561, 2014.

[12] M. Monteiro, C. Cabeza, A. C. Martí, P. Vogt, and J. Kuhn, "Angular velocity and centripetal acceleration relationship," The Physics Teacher, 52(5):312-313, 2014.

[13] L.J. Thoms, G. Colicchia, and R. Girwidz, "Color reproduction with a smart-phone," Phys. Teach. 51, 440 (Oct. 2013).

[14] J.C. Castro-Palacio, L. Velázquez-Abad, M.H. Giménez, and J.A. Monsoriu, "Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations," Am. J. Phys. 81, 472 (2013).

[15] J.A. Sans, F.J. Manjón, A.L.J. Pereira, J.A.Gómez-Tejedor, and J.A. Monsoriu, "Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor," Eur. J. Phys. 34, 1349 (2013).

[16] J.C. Castro-Palacio, L. Velázquez-Abad, F. Giménez, and J.A. Monsoriu, "A quantitative analysis of coupled oscillations using accelerometer sensors," Eur. J. Phys. 34, 737 (2013).

[17] Diversas aplicaciones disponibles en el sitio de Google Play, <http://play.google.com>, permiten registrar los valores medidos por los sensores en función del tiempo.