

# El smartphone como barómetro en experimentos de Física

## The smartphone as a barometer in Physics experiments

Isabel Salinas, Marcos H. Giménez, Juan A. Monsoriu  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
isalinas@fis.upv.es, jmonsori@fis.upv.es, mhgimene@fis.upv.es

Juan Carlos Castro Palacio  
IMPERIAL COLLEGE LONDON  
j.castro-palacio@imperial.ac.uk

---

### Abstract

*En este trabajo se presentan dos experimentos que sacan partido del sensor de presión de los teléfonos inteligentes, utilizándolo para determinar su valor en el seno de agua en equilibrio en una probeta. En un primer experimento, destinado a estudiantes de Secundaria y niveles superiores, las medidas de la presión obtenidas a diferentes profundidades permiten realizar un ajuste lineal, comprobando así la validez de la Ley de Stevin. Además, a partir de dicha ley y de los parámetros del ajuste se puede determinar la densidad del agua. Los valores obtenidos indirectamente por este procedimiento difieren entre un 2 % y un 4 % del resultado de dividir entre sí la masa y el volumen de una muestra. En un segundo experimento, más enfocado a estudiantes de primeros cursos universitarios de asignaturas de Física, el teléfono móvil sumergido oscila suspendido de un muelle. Las medidas del sensor de presión permiten, mediante la Ley de Stevin, obtener la serie temporal de la presión en la correspondiente oscilación amortiguada, cuyos parámetros se determinan mediante un ajuste no lineal. La comparación de la pulsación libre obtenida a partir de estos valores difiere en un 1,5 % respecto del obtenido a partir de la medición directa del periodo fuera del agua. En ambos casos, los resultados obtenidos indican la efectividad del método utilizado en contextos docentes.*

*This paper presents two experiments that take advantage of smartphones pressure sensor, using it to determine the value of the pressure within in equilibrium water in a test tube. In a first experiment, aimed at students of secondary and higher levels, the data collected with the pressure sensor of a smartphone at different depths allow a linear fit, thus checking the validity of Stevin's Law. In addition, based on this law and the parameters of the adjustment it has been possible to determine the density of the water. The density values obtained indirectly by this procedure differ between 2 % and 4 % of the result of dividing the mass and volume of a sample. In a second experiment, more focused on students of the first university courses of Physics subjects, the submerged smartphone oscillates suspended from a spring. The measurements of the pressure sensor allow, through Stevin's Law, to obtain the time series of the pressure in the corresponding damped oscillation, whose parameters are determined by a non-linear adjustment. The comparison of the free pulsation obtained from these values differs by 1.5 % from that obtained from the direct measurement of the period outside the water. In both cases, the results obtained indicate the suitability of the current methodology in teaching contexts.*

---

Palabras clave: teléfonos inteligentes, hidrostática, enseñanza de la Física.  
Keywords: smartphones, hydrostatics, physics teaching.

## 1. Introducción

Los teléfonos inteligentes (*smartphones*) forman parte de nuestra cotidianeidad. La creciente incorporación de sensores los capacita para un gran número de aplicaciones, entre las que se incluye su utilización en la enseñanza. El teléfono se puede utilizar en el laboratorio docente de Física como un instrumento más de medida gracias a sus múltiples sensores: acelerómetro, giróscopo, de temperatura, de humedad, de luz y de campo magnético. Para la gestión de cada uno de estos sensores se puede encontrar aplicaciones informáticas gratuitas en internet; permitiendo básicamente el registro y almacenamiento de los datos obtenidos.

La literatura especializada relacionada con la enseñanza de la Física ha reportado, desde el año 2010 aproximadamente, un número creciente de trabajos relacionados con los sensores de los *smartphones* y la enseñanza de la Física. Los primeros trabajos reportados ilustraron experimentos docentes sencillos de Mecánica Clásica para el Nivel Secundario, y fueron publicados en la revista *Physics Teacher* de la Asociación Americana de Profesores de Física en 2012 y 2013 (Vogt y Kuhn, 2012; Chevie et al., 2013; Kuhn y Vogt, 2013a). En estos trabajos, los autores mostraron cómo calcular la aceleración de caída libre de un cuerpo y experimentaron con péndulos simples. En 2013, se publica un trabajo en la misma revista sobre la relación impulso-momento (Streepey, 2013). En todos los casos, el objeto de estudio es el teléfono mismo. Con la intención de extender los experimentos docentes con el sensor de aceleración al Nivel Universitario y con una dimensión más cuantitativa, Monsoriu y sus colaboradores han publicado un conjunto importante de trabajos desde 2013 hasta la fecha, que han abarcado varios temas de la Mecánica Clásica, tales como oscilaciones unidimensionales libres, amortiguadas (Castro-Palacio et al., 2013a) y acopladas (Castro-Palacio et al., 2013b), movimiento circular (Castro-Palacio et al., 2014) y oscilaciones bidimensionales (Tuset-Sanchis et al., 2015; Giménez et al., 2017). En el caso de las oscilaciones bidimensionales, el uso del teléfono como dispositivo de medida supone un gran avance. Hasta ese momento, los experimentos se realizaban utilizando métodos un tanto engorrosos: por ejemplo, la trayectoria del cuerpo oscilante era plasmada sobre un papel de carbón que posteriormente era digitalizado para el análisis (Bobillo-Ares y Fernandez-Nufie, 1995).

En relación a los otros sensores, también se pueden citar trabajos publicados por el grupo del Prof. Monsoriu (Sanz et al. 2013, Gomez-Tejedor et al., 2013, 2014, 2015) y por otros autores (Parolin y Pezzi, 2013; Thoms et al., 2013; Kuhn y Vogt, 2013b; Silva, 2012; Forinash y Wisman, 2012; Monteiro et al., 2014). Por ejemplo, Gomez-Tejedor et al. (2014); Gomez-Tejedor et al. (2015); Parolin y Pezzi (2013); Kuhn y Vogt (2013b) determinan la velocidad del sonido utilizando el micrófono del móvil y un altavoz; Gomez-Tejedor et al. (2013) estudian los movimientos rectilíneo uniforme y uniformemente acelerado utilizando el micrófono y el efecto Doppler; y Sanz et al. (2013) y Thoms et al. (2013) utilizan el sensor de luz ambiental. Otros trabajos muestran cómo aprovechar el giróscopo del móvil para analizar la conservación del momento angular (Shakur y Sinatra, 2013) y medir la energía de rotación (Monteiro et al., 2014a). También se reportan trabajos sobre el uso combinado de varios sensores. Por ejemplo, Monteiro et al. (2014b), muestran cómo el uso combinado de giróscopos permite la medición de la aceleración y la velocidad angular, respectivamente, de un péndulo físico, para brindar así una mejor descripción de la cinemática de este sistema.

En el presente artículo se describen nuevas experiencias en relación al uso de los teléfonos inteligentes en laboratorios docentes de Física, en esta ocasión utilizando el teléfono como barómetro. En la literatura se reporta un trabajo donde se utiliza el sensor de presión del dispositivo para medir la densidad del agua (Macchia, 2016). Adicionalmente, en el presente trabajo hemos incluido la medición de la densidad del agua de una cubeta de 60 litros en la que

se disuelven 2 kg de sal de cocina. En una segunda parte del artículo, el sensor de presión del teléfono se ha utilizado para estudiar sus oscilaciones amortiguadas en un recipiente con agua. A partir de las mediciones de presión y mediante un ajuste no lineal de los datos experimentales a la ecuación del movimiento armónico amortiguado, se determinaron la amplitud, el tiempo de relajación, el período y la fase inicial.

## 2. Determinación de la densidad de un líquido.

El experimento para determinar la densidad del agua de una cubeta se diseñó para estudiantes de Secundaria y niveles superiores. En primer lugar, el teléfono se introdujo en una bolsa plástica hermética. Antes de cerrarla, se extrajo el aire del interior tanto como fue posible, para garantizar un mejor contacto del agua con el sensor, solo mediado por la pared de plástico de la bolsa. Una vez preparado el teléfono, se procedió a realizar las mediciones de la presión hidrostática en pascuales a diferentes niveles de profundidad, entre 0 y 22 cm, y a intervalos equidistantes de 2 cm. En cada acto de medición, correspondiente a una determinada profundidad, se esperó unos segundos, de manera tal que se restablecieran las condiciones de equilibrio hidrostático. El teléfono empleado fue un Samsung Galaxy S7 y para gestionar su sensor de presión se utilizó la aplicación Physics Toolbox Suite ver. 1.7.3 (Vieyra Software, 2017). Dentro de la aplicación, se seleccionó la opción “Barómetro” y se colocó en modo “Lectura Digital”. A partir de un conjunto suficientemente grande de valores de presión, para cada profundidad se calculó el valor promedio y la desviación estándar. Según la Ley de Stevin (Alonso y Finn, 1992), la presión hidrostática  $P$  en función de la profundidad  $h$  se expresa como:

$$P = P_0 + \rho gh, \quad (1)$$

donde  $P_0$  es la presión atmosférica,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $\rho$  es la densidad del líquido, que es la magnitud a determinar en nuestro experimento. A partir de los datos de presión medios, calculados para cada profundidad, se procedió a la determinación de la densidad utilizando un ajuste lineal. La Figura 1 muestra una foto del montaje experimental (a) y una representación esquemática del experimento (b) donde se pueden apreciar las magnitudes físicas involucradas. El procedimiento descrito anteriormente se llevó a cabo para dos muestras: sin y con 2 kg de sal de cocina añadidos a los 60 litros de agua de la cubeta. De esa manera se garantizó contar con dos muestras de densidades diferentes y de muy fácil preparación. La Figura 2 representa los valores captados por el sensor de presión y registrados con la aplicación Physics Toolbox Suite en función del tiempo para cada profundidad. Se puede apreciar que las fluctuaciones de los valores son pequeñas, con una desviación estándar de 0,0296 Pa.

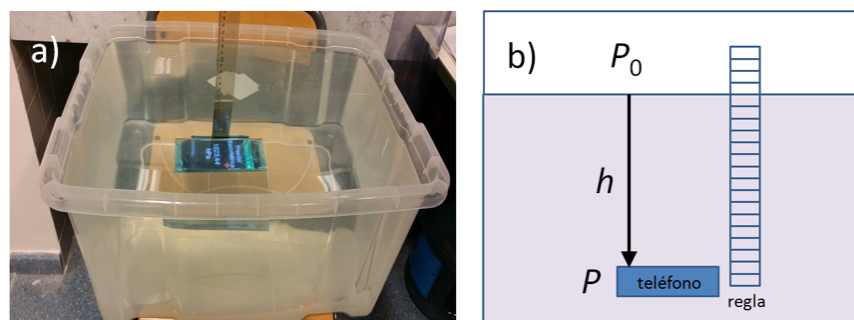


Figura 1: Foto del montaje experimental (a) y representación esquemática del experimento (b), donde se muestran las magnitudes involucradas en la Ecuación 1.

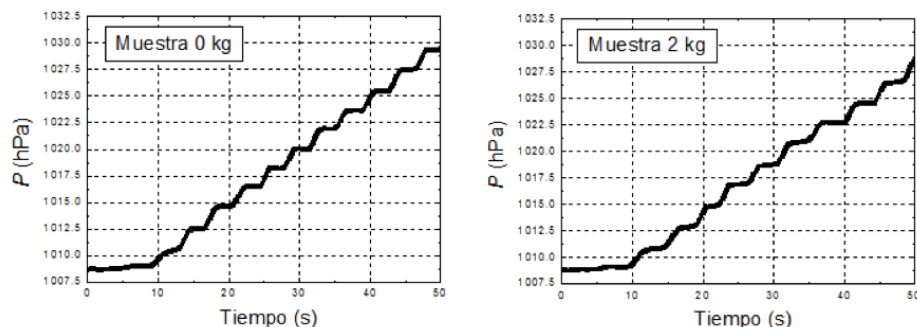


Figura 2: Presión hidrostática en función del tiempo. Los valores constantes de presión (escalones) representan las mediciones a las diferentes profundidades para los dos casos considerados en este trabajo, es decir, sin y con 2 kg de sal añadidos al agua de la cubeta.

Los valores medios de presión, obtenidos a partir de las mediciones con el sensor del teléfono, se representan en función de la profundidad en la Figura 3. La representación de estos datos responde a un modelo lineal caracterizado por la Ecuación 1. Después de realizar un ajuste lineal, utilizando el método de los Mínimos Cuadrados, se obtuvieron los valores de la pendiente  $a$  y la ordenada en el origen  $b$ , que en nuestro caso se corresponden con la constante  $g$  y la presión atmosférica  $P_0$  en la Ecuación 1. La Tabla 1 muestra un resumen de estos resultados y la comparación de los valores obtenidos con otro método alternativo; consistente en medir el volumen  $V$  y la masa  $m$ , para luego determinar la densidad másica según su definición:  $\rho = m/V$ . Se puede apreciar que los valores obtenidos difieren en un 4% y 2% para los casos sin y con sal de cocina añadidos, respectivamente. Esta diferencia porcentual puede estar relacionada con restos de aire en el interior de la envoltura de plástico, la precisión en el posicionamiento vertical o la falta de horizontalidad del teléfono durante las mediciones.

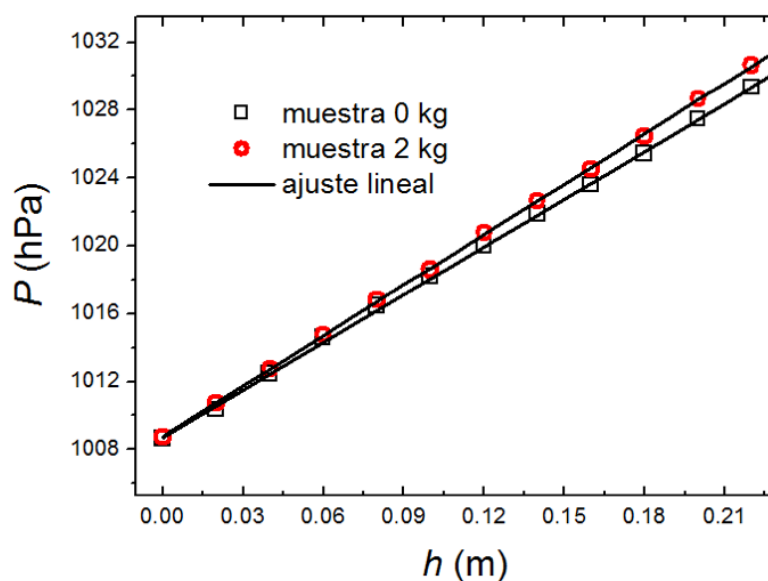


Figura 3: Presión hidrostática en función de la profundidad.

$$P = ah + b$$

$$a = \rho g ; b = P_0$$

	Muestra 0 kg	Muestra 2 kg
$a$ (hPa/m)	93,68 (0,63)	99,14 (0,35)
$b$ (hPa)	1008,717 (0,082)	1008,766 (0,046)
$R^2$	0,999	0,999
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	956 (16)	1012 (14)
$\rho_{\text{balanza}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	996 (1)	1033 (1)
$D$ (%)	4,0%	2,0%

Tabla 1: Resultados del ajuste lineal realizado con el método de los Mínimos Cuadrados. Las incertidumbres se muestran entre paréntesis.

### 3. Caracterización de oscilaciones amortiguadas

El experimento para el estudio de las oscilaciones amortiguadas en el seno del agua se diseña para estudiantes de primeros cursos universitarios de asignaturas de Física. Antes de sumergir el teléfono en agua, se siguió el proceso ya indicado anteriormente para protegerlo. Una vez preparado, el dispositivo, se suspendió de un resorte y, se añadió un peso auxiliar debajo, tal como se muestra en la Figura 4, donde se incluyen una foto (panel a) y un esquema (panel b) del montaje experimental. Las mediciones de la presión hidrostática fueron registradas con el sensor de presión del teléfono (barómetro). Al igual que en los experimentos del apartado anterior, se empleó un teléfono Samsung Galaxy S7, y para gestionar su sensor de presión se utilizó la aplicación Physics Toolbox Suite ver. 1.7.3 (Vieyra Software, 2017). De acuerdo con la ley de Stevin, existe una relación lineal entre presión y desplazamiento. Por tanto, la serie temporal de presiones se ajusta a una expresión matemática equivalente a la del movimiento oscilatorio amortiguado del teléfono.

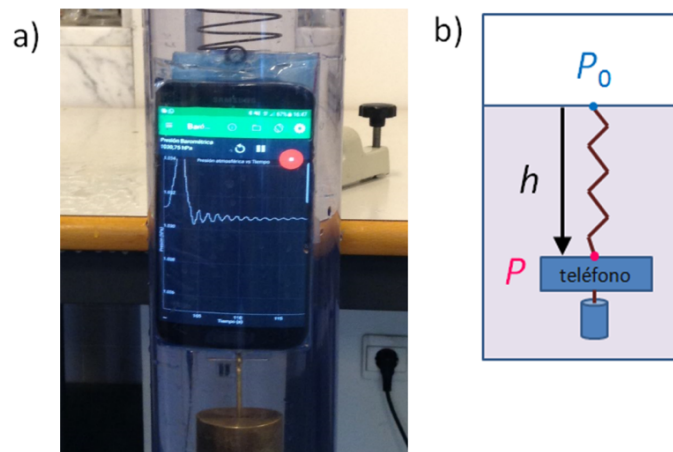


Figura 4: Foto del montaje experimental (a) y representación esquemática del experimento (b), donde se muestran las magnitudes involucradas en la Ecuación 1.

Por tal motivo, los datos de presión  $P$  medidos en función del tiempo  $t$  han sido ajustados mediante el algoritmo de Levenberg-Marquardt (Levenberg, 1944, Marquardt, 1963) a la siguiente ecuación:

$$P = P_{eq} + Ae^{-t/\tau}\text{sen}(\omega t + \phi), \quad (2)$$

donde  $P_{eq}$  es la presión hidrostática en la posición de equilibrio del sistema,  $A$  la amplitud inicial,  $\omega$  la pulsación,  $\phi$  la fase inicial y el tiempo de relajación. En la Figura 5 se representa la curva del ajuste obtenido junto con los datos medidos. La Tabla 2 incluye los valores de los diferentes parámetros de la curva ajustada. A partir de la pulsación y el tiempo de relajación se obtiene la pulsación libre del sistema,

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \frac{1}{\tau^2}} = 5,4305 \text{ rad/s}. \quad (3)$$

El resultado presenta una desviación del 1,5%, con respecto a la pulsación libre calculada a partir de la medición directa del período promedio de 10 oscilaciones,  $\omega_0 = 5,5116 \text{ rad/s}$ .

Parámetros	Valores (incertidumbre)
$P_{eq}$ (hPa)	1031,9732 (0,0021)
$A$ (hPa)	0,627 (0,021)
$\tau$ (s)	4,45 (0,16)
$\omega$ (rad/s)	5,4258 (0,0082)
$\varphi$ (rad)	1,553 (0,033)
$R^2$	0,9708

Tabla 2: Resultados del ajuste no lineal realizado con algoritmo de Levenberg-Marquardt. Las incertidumbres se muestran entre paréntesis.

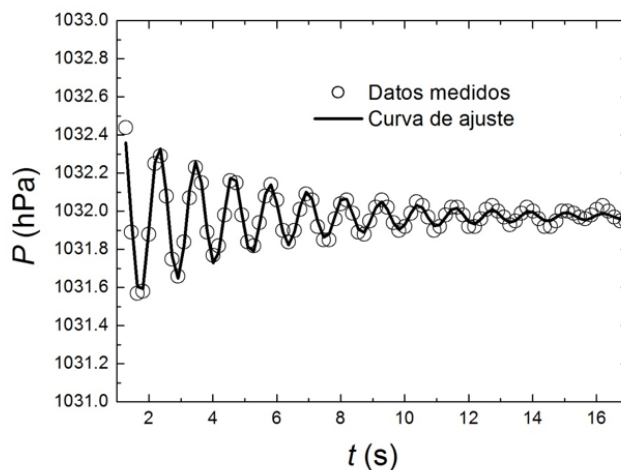


Figura 5: Datos medidos con el sensor de presión en función del tiempo y el respectivo ajuste no lineal practicado.

## 4. Conclusiones

En un primer estudio se ha utilizado el sensor de presión de un teléfono inteligente para medir su valor a diferentes profundidades. El correspondiente ajuste lineal, junto con la Ley de Stevin ha permitido obtener el valor de la densidad del agua. La comparación con la densidad obtenida de mediciones con una probeta y una balanza, arroja una diferencia porcentual del 4 % y 2 % para los casos sin y con 2 kg de sal de cocina añadidos a los 60 litros de agua de la cubeta. En un segundo experimento, se ha utilizado el sensor de presión del móvil al estudio del movimiento oscilatorio amortiguado del teléfono en el agua. La serie temporal de presiones, que dependen linealmente de la profundidad del teléfono, se ha utilizado para describir las oscilaciones. El valor de la pulsación obtenido del ajuste se utilizó para calcular la pulsación libre del sistema, que se comparó con la calculada a partir de la medición directa del período del sistema en el aire, resultando una desviación 1,5 %. Este tipo de experiencias, donde los móviles son utilizados como instrumentos de medida, han encontrado una gran aceptación entre los estudiantes de primero de Ingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño de la Universitat Politècnica de València (España). De hecho, se ha realizado una encuesta de satisfacción a los alumnos que realizaron la misma práctica, pero aplicando metodologías diferentes, y se ha comparado los resultados. En general, la calificación obtenida en los grupos que realizaron la práctica innovadora (con *smartphone*) es mucho más alta en todos los apartados de la encuesta, con una valoración media de 8,2 (sobre 10 puntos), en comparación con los que han seguido el método tradicional, con una valoración global de 6,3 puntos. En definitiva, podemos afirmar que el grado de satisfacción del alumnado se incrementa en un 30 % cuando utilizan los *smartphones* en el laboratorio.

## Agradecimientos

Agradecimientos Los autores quisieran agradecer al Instituto de Ciencias de la Educación de la Universitat Politècnica de València (España) por el apoyo brindado a los grupos de Innovación Docente MoMa y e-MACAFI.

## Referencias

-  Alonso, M., Finn, E. J. (1992).  
*Physics*  
Addison-Wesley Publishing Company.
-  Bobillo-Ares, N. C., Fernandez-Nufiez, J. (1995).  
*Two-dimensional harmonic oscillator on an air table*  
Eur. J. Phys. 16, 223–7.
-  Castro-Palacio, J. C., Velazquez-Abad, L., Gimenez, F., Monsoriu, J. A. (2013a).  
*A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors.*  
Eur. J. Phys. 34, 737–44.
-  Castro-Palacio, J. C., Velazquez-Abad, L., Gimenez, M. H., Monsoriu, J. A. (2013b).  
*Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations.*  
Am. J. Phys. 81, 472.
-  Castro-Palacio, J. C., Velazquez-Abad, L., Gómez Tejedor, J. A., Manjón, F. J., Monsoriu, J. A. (2014).  
*Using a smartphone acceleration sensor to study uniform and uniformly accelerated circular motions.*  
Rev. Bras. Ensino Fis. 36, 2315.
-  Chevrier, J., Madani, L., Ledenmat, S., Bsiesy, A. (2013).  
*Teaching classical mechanics using smartphones.*  
Phys. Teach. 51, 376.
-  Forinash, K., Wisman, R. F. (2012).  
*Smartphones as portable oscilloscopes for physics labs.*  
Phys. Teach. 50, 242.
-  Giménez, M.H., Castro-Palacio, J. C., Gómez-Tejedor, J. A., Velazquez, L., Monsoriu, J. A. (2017).  
*Theoretical and experimental study of the normal modes in a coupled two-dimensional system.*  
Revista Mexicana de Física E 63, 100–106.
-  Gomez-Tejedor, J. A., Castro-Palacio J. C., Monsoriu, J. A. (2015).  
*Frequency Analyser: A New Android Application for High Precision Frequency Measurement.*  
Comp. Ap. Eng. Educ. 23(3) 471–476
-  Gomez-Tejedor, J. A., Castro-Palacio, J. C., Monsoriu, J. A. (2014).  
*The acoustic Doppler effect applied to the study of linear motions. Introduction to linear motions.*  
Eur. J. Phys. 35, 025006
-  Gomez-Tejedor, J. A., Castro-Palacio, J. C., Monsoriu, J. A. (2014).  
*Direct measurement of the speed of sound using a microphone and a speaker.*  
Phys. Educ. 49, 310.



-  Kuhn J., Vogt, P. (2013a).  
*Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone.*  
Phys. Teach. 51, 118.
-  Kuhn J., Vogt, P. (2013b).  
*Smartphones as experimental tools: different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices.*  
Eur. J. Phys. Educ. 4, 16.
-  Levenberg K. (1944).  
*A method for the solution of certain non-linear problems in least squares.*  
Quart. Appl. Math. 2 164-8.
-  Macchia, S. (2016),  
*Analyzing Stevin's law with the smartphone barometer.*  
Phys. Teach. 54, 373.
-  Marquardt D. (1963).  
*An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters.*  
SIAM J. Appl. Math. 11 431-41.
-  Monteiro, M., Cabeza C., Martí, A. C. (2014).  
*Exploring phase space using smartphone acceleration and rotation sensors simultaneously.*  
Eur. J. Phys. 35, 045013.
-  Monteiro, M., Cabeza, C. , Martí, A. C. (2014).  
*Rotational energy in a physical pendulum.*  
Phys. Teach. 52, 561.
-  Parolin, S. O., Pezzi, G. (2013).  
*Smartphone-aided measurements of the speed of sound in different gaseous mixtures.*  
Phys. Teach. 51, 508.
-  Sans, J. A., Manjon, F. J., Pereira, A. L. J., Gomez-Tejedor, J. A., Monsoriu, J. A. (2013).  
*Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor.*  
Eur. J. Phys. 34, 1349.
-  Shakur, A., Sinatra, T. (2013).  
*Angular momentum.*  
Phys. Teach. 51, 564.
-  Silva, N. (2012).  
*Magnetic field sensor.*  
Phys. Teach. 50, 372.
-  Streepey J. W. (2013).  
*Using ipads to illustrate the impulse-momentum relationship.*  
Phys. Teach. 51, 54.
-  Thoms, L. J., Colicchia, G., Girwidz, R. (2013).  
*Color reproduction with a smartphone.*  
Phys. Teach. 51, 440.



Tuset-Sanchis, L., Castro-Palacio, J. C., Gómez-Tejedor, J. A., Manjón, F. J., Monsoriu, J. A. (2015).

*The study of two-dimensional oscillations using a smartphone acceleration sensor: example of Lissajous curves.*

Phys. Educ. 50, 580.



Vieyra Software, Physics Toolbox Suite ver. 1.7.3.,  
downloaded in September 2017 from:

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



Vogt P. y Kuhn J. (2012).

*Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor.*

Phys. Teach. 50, 182.