

# Obtención del valor de la aceleración de la gravedad en el laboratorio de física. Experiencia comparativa del sensor de un teléfono celular inteligente y el péndulo simple

José Enrique Martínez Pérez

*Instituto Universitario de Tecnología del Estado Bolívar. Ciudad Bolívar. Venezuela.*

[josenriquemartinez@gmail.com](mailto:josenriquemartinez@gmail.com)

[Recibido en abril de 2014, aceptado en febrero de 2015]

El presente trabajo valida y prueba la precisión del sensor de un teléfono celular inteligente (TCI) para la determinar la aceleración de la gravedad ( $g$ ) en el laboratorio de física, comparándolo con el valor calculado a partir de las oscilaciones de un péndulo simple. Se aplicaron pruebas para validar el dispositivo, sugiriendo que el acelerómetro del TCI es un sensor válido y con precisión para ser usado en experiencias de laboratorio de Física y/o Mecánica.

**Palabras clave:** Teléfono celular inteligente (TCI); Aceleración de gravedad; Acelerómetro; Enseñanza de la física.

## Determination of the value of the acceleration due to gravity in the Physics laboratory. Comparative test with a sensor of smart mobile phone and a simple pendulum

This study validates and tests the accuracy of a smart mobile phone's sensor for the determination of the acceleration due to gravity in the physics lab ( $g$ ), comparing it to the results obtained from the oscillations of a simple pendulum. The equipment was validated by applying several tests, which suggest that the smart mobile phone's accelerometer is a valid and accurate sensor for use in laboratory experiments of Physics and/or Mechanics.

**Keywords:** Smart mobile phone; Acceleration of gravity; Accelerometer; Physics teaching.

## Introducción

En los cursos de física de educación secundaria y universitaria es fundamental desarrollar experiencias de laboratorio con la finalidad de adquirir destrezas y habilidades en el saber conocer y saber hacer. Cobran más fuerza si las mismas son experiencias bajo el enfoque constructivista (Massoni y Moreira 2010, Guisasola *et al.* 2012). Además, son imprescindibles si se desea lograr un aprendizaje significativo (Agudelo y García 2010).

En muchos casos, se elaboran experiencias gravimétricas para la determinación de  $g$ , tales como las basadas en la caída libre, el péndulo simple, la máquina de Atwood, etc. En la actualidad, para muchas instituciones educativas en varios países latinoamericanos es cada vez más difícil actualizar y mantener un laboratorio de física, debido a los altos costos que representan su infraestructura, los materiales y los equipos (Guillarón *et al.* 2013). El Instituto Universitario de Tecnología del Estado Bolívar (IUTEB) en Venezuela, una institución de educación universitaria, ha intentado fallidamente actualizar, reemplazar y/o adquirir equipos y sensores para sus laboratorios de física y mecánica, debido a sus elevados costes.

Por otro lado, mientras muchos de estos equipos se hacen cada vez menos visibles en los establecimientos educativos, otros, como los teléfonos celulares inteligentes (TCI), se hacen más comunes en manos de estudiantes de secundaria y universitarios, como lo reporta la Comisión Nacional de Telecomunicaciones de Venezuela (CONATEL 2013).

Sin embargo, de acuerdo a los resultados aparecidos en un estudio llevado a cabo en España por el Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación (INTECO 2011), los TCI se

están usando con gran porcentaje para tomar y compartir imágenes, descargar y escuchar música, copiar y enviar mensajes de texto, etc.

En la actualidad, los TCI están dotados de sensores tales como acelerómetros, giróscopos, barómetros, etc. y, en los últimos dos años, varias investigaciones han mostrado su viabilidad para ser usados en experiencias dentro del aula de clase de física o en su laboratorio, en fenómenos acústicos, ópticos y mecánicos (Kuhn y Vogt 2012, Kuhn y Vogt 2013a, 2013b, 2013c, Vogt y Kuhn 2012a, 2012b, 2013, Sans *et al.* 2013). No obstante, tales trabajos no han mostrado la validez y la precisión del acelerómetro del TCI y su contraste en la determinación de  $g$  a partir del montaje experimental de un péndulo simple.

Es por ello que en este trabajo se propone como objetivos: a) determinar el valor de  $g$  (i) con el sensor de aceleración suministrado por el TCI y (ii) a partir del montaje experimental del péndulo simple, b) probar la precisión del sensor del TCI y compararlo con el montaje experimental del péndulo simple, y c) recomendar la posibilidad del uso del TCI como instrumento de medición de  $g$  en el laboratorio o en clases de física.

## Marco teórico

En la enseñanza de la física, la determinación de  $g$  se realiza a través de montajes como el péndulo simple o la caída de los cuerpos, de forma indirecta, o a partir de instrumentos de medición como los acelerómetros.

El montaje más utilizado es el del péndulo simple. De acuerdo a Hugh y Freedman (2009), un péndulo simple es un modelo ideal consistente en una masa puntual suspendida de un hilo inextensible con masa despreciable. Si la masa puntual se desplaza de su posición de equilibrio una amplitud pequeña, el periodo  $T$  de oscilación puede aproximarse mediante la siguiente expresión:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (1)$$

donde  $L$  es la longitud del hilo.

A partir de esta ecuación puede calcularse el valor de  $g$  según la siguiente relación:

$$L = \frac{g}{4\pi^2} T^2, \quad (2)$$

puesto que la pendiente de la gráfica de la recta  $L$  frente a  $T^2$  contiene el valor de  $g$ .

Por otro lado, los acelerómetros son instrumentos que registran los valores de  $g$ . Un acelerómetro es un dispositivo que capta movimientos, vibraciones y es capaz de traducirlo a un valor de  $g$ . En un laboratorio de Mecánica se usan para evaluar las vibraciones de los equipos y en los laboratorios de actividad física, son utilizados para monitorear la práctica deportiva.

En la actualidad, los acelerómetros son sistemas microelectromecánicos fabricados de silicio que registran la aceleración a partir del cambio en la capacitancia de la estructura de una placa fija y otra móvil, que hace las veces de masa sísmica, que por efecto del campo gravitatorio es capaz de moverse. Es como si encapsulamos un resorte y le colocamos una masa y que ésta pueda moverse debido al movimiento o atracción gravitatoria en cualquier punto de la Tierra. Estas variaciones de la masa sísmica son traducidas y calibradas a un valor de  $g$  dentro del campo gravitatorio.

## Metodología de trabajo

### Medición de la magnitud de $g$ utilizando el acelerómetro del TCI

El TCI está dotado de un acelerómetro, es un sensor *K330 3-axis* del tipo 1, versión 1 de *STMicrotecnology* que viene dentro de un TCI marca Samsung modelo GT-I9505 con una versión Android 4.4.2. Además, la aplicación *AndroSensor* se necesitó para registrar los datos, se ajustó para recoger los valores de la magnitud de  $g$  a una frecuencia de 20 Hz durante 3,1 s y se almacenaron 62 datos. El laboratorio de Física se encuentra a una altitud de  $(46 \pm 6)$  m sobre el nivel del mar en Ciudad Bolívar (Venezuela) y las coordenadas geográficas fueron tomadas con el apoyo del GPS del TCI y la aplicación *GPS Status* versión 5.3.111 (la figura 1 muestra los valores).

### Cálculo de la magnitud $g$ a partir de un montaje del péndulo simple

La figura 2 muestra el montaje del péndulo que se usó. Consistió de un soporte, un hilo que podía ajustarse a diferentes longitudes, en cuyo extremo cuelga una esfera. Se capturaron los tiempos de oscilación del péndulo utilizando el sensor de proximidad que tiene el TCI. Este sensor permite reconocer la cercanía de un objeto. Para esto último, se recurrió a una aplicación que registra el tiempo en que un objeto está cerca del TCI. Se trata de *Physics Toolbox Suite de Vieyra Software* en su versión 1.2.5. Posteriormente, se desplazó la masa del péndulo con una amplitud de  $10^\circ$  y la aplicación fue registrando el paso de ella por el sensor. Se tomaron 10 registros de tiempo con la aplicación mencionada, para 8 longitudes diferentes del hilo del péndulo, medidos con una cinta métrica.

## Procesamiento y análisis de los resultados

### Medición de la magnitud de $g$ utilizando el acelerómetro del TCI

Para analizar los 62 valores de  $g$  recogidos por el sensor del TCI se usó el programa estadístico *STATGRAPHICS Centurion XVI* v. 16.1.11 (32-bit). La tabla 1 destaca los parámetros estadísticos que se calcularon de la muestra de 62 datos recogidos del sensor del TCI. Se observa un coeficiente de variación (CV) aceptable, que da cuenta de la precisión del sensor. Igualmente, el intervalo de confianza para un 95% destaca que la incertidumbre es bastante baja.

**Tabla 1.** Valores de los parámetros estadísticos.

Sensor	$\bar{g}$ (m/s <sup>2</sup> )	$s_g^2$ (m/s <sup>2</sup> )	CV (%)	Intervalo de confianza (m/s <sup>2</sup> )	$\bar{x}_{0,25}$
TCI	9,757	0,011	0,11	$\pm 0,003$	1,96



**Figura 1.** Altitud del laboratorio de física usando la aplicación *GPS*



**Figura 2.** Montaje experimental del péndulo simple para calcular el valor de  $g$ .

### Cálculo de la magnitud $g$ a partir de un montaje del péndulo simple

La tabla 2 muestra los datos recogidos de la experiencia del péndulo simple haciendo el montaje de la figura 2.

**Tabla 2.** Datos recogidos del tiempo de oscilación de la masa, para diferentes longitudes del péndulo.

$L$ (m)	$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_4$ (s)	$t_5$ (s)	$t_6$ (s)	$t_7$ (s)	$t_8$ (s)	$t_9$ (s)	$t_{10}$ (s)	$\bar{t}$ (s)	$\bar{t}^2$ (s <sup>2</sup> )
0,300	1,106	1,108	1,106	1,180	1,100	1,108	1,104	1,102	1,106	1,104	1,112	1,237
0,390	1,254	1,256	1,255	1,256	1,256	1,254	1,255	1,254	1,254	1,255	1,255	1,575
0,470	1,372	1,372	1,374	1,374	1,374	1,374	1,372	1,373	1,374	1,374	1,373	1,886
0,590	1,542	1,544	1,544	1,548	1,548	1,548	1,546	1,546	1,548	1,540	1,545	2,388
0,700	1,684	1,678	1,686	1,678	1,686	1,678	1,681	1,680	1,682	1,678	1,681	2,826
0,800	1,790	1,794	1,790	1,796	1,798	1,798	1,792	1,792	1,798	1,798	1,795	3,221
0,900	1,906	1,907	1,905	1,905	1,905	1,908	1,907	1,905	1,908	1,907	1,906	3,634
1,000	2,010	2,010	2,009	2,008	2,008	2,008	2,007	2,069	2,010	2,010	2,015	4,060

Posteriormente, se calculó la incertidumbre de cada variable utilizando el modelo propuesto por Meza *et al.* (2009). Para el caso de la longitud, se detectaron dos fuentes de incertidumbre estándar tipo B, una debido a la especificación de exactitud y otra por la resolución de la cinta métrica utilizada. Por otro lado, para el caso del tiempo, se evaluaron tres fuentes de incertidumbre estándar, una del tipo A de carácter estadístico a partir de las 10 observaciones registradas, y otras dos del tipo B, por la resolución y por la exactitud del cronómetro del TCI. Por último, se siguió el procedimiento sugerido por el *Joint Committee for Guides in Metrology* (JCGM 2009) para expresar la incertidumbre de las medidas de longitud y del periodo al cuadrado aplicando la Ley de propagación. La tabla 3 muestra los valores de las medidas y sus incertidumbres.

**Tabla 3.** Presentación de las medidas tomadas y calculadas con sus incertidumbres expandidas.

$L$ (m)	$\pm \mu_c(L)$ (m)	$\bar{T}^2$ (s <sup>2</sup> )	$\pm \mu_c(\bar{T}^2)$ (s <sup>2</sup> )
0,300	0,001	1,237	0,034
0,390	0,001	1,575	0,002
0,470	0,001	1,886	0,002
0,590	0,001	2,388	0,004
0,700	0,001	2,826	0,005
0,800	0,001	3,221	0,005
0,900	0,001	3,634	0,002
1,000	0,001	4,060	0,027

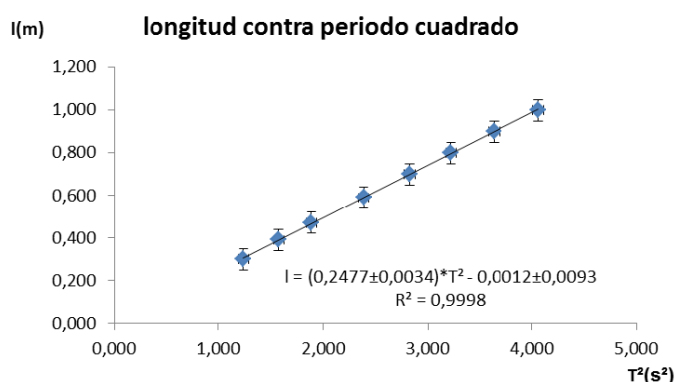
El siguiente paso fue graficar las medidas siguiendo la relación de la ecuación (2) mediante una hoja de cálculo de *Microsoft Excel*. La figura 3 muestra la representación gráfica de la longitud  $L$  frente periodo al cuadrado  $T^2$ .

Se aplicó el método de mínimos cuadrados para lograr el ajuste de la línea de tendencia (JCGM 2009). Se observa que el parámetro de ajuste explica en un 99,98% que las variables concuerdan con el modelo matemático de la ecuación (2). Lo anterior permite determinar el valor de la magnitud de  $g$  a partir de la pendiente de la recta. La tabla 4 muestra su valor e incertidumbre.

**Tabla 4.** Valor de  $g$  calculado a partir del modelo matemático del péndulo simple.

Experiencia	$\bar{g}$ (m/s <sup>2</sup> )	$s_{\bar{g}}$ (m/s <sup>2</sup> )	CV (%)	Intervalo de confianza (m/s <sup>2</sup> )	$t_{0,25}$
Péndulo Simple	9,779	0,155	1,6	$\pm 0,003$	2,45

En esta experiencia se observa un intervalo de confianza del valor de  $g$  mayor que el calculado usando el sensor del TCI. Igualmente, se muestra un CV mayor en esta experiencia que el determinado por el sensor del TCI. Estos valores dan cuenta de la validez y precisión del acelerómetro del TCI.



**Figura 3.** Representación gráfica de  $L$  frente a  $T^2$ . Los símbolos representan los datos experimentales, mientras que la línea recta se ha obtenido aplicando el método de mínimos cuadrados.

## Conclusiones

Los altos costos de materiales y equipos están imposibilitando su adquisición, renovación y/o reemplazo en los laboratorios de

Física y/o Mecánica de los establecimientos educativos en Venezuela. Como consecuencia de ello, cada vez se hará menos visible su presencia. Pero el auge e inserción en la sociedad de los TCI harán que éstos sean más frecuentes en manos de los estudiantes de enseñanza secundaria y universitaria. Si los TCI están dotados de sensores, ¿podrán ser válidos y precisos para ser usados en algunas experiencias y montajes de los laboratorios de Física y/o Mecánica? Los resultados arrojados por este estudio sugieren que el acelerómetro del TCI de *Samsung Modelo K330 3-axis* del tipo 1, versión 1 de *STMicrotechnology* es un sensor válido y de precisión para medir la aceleración de la gravedad en el laboratorio de Física. Además, por su funcionalidad y portabilidad, puede ser utilizado en algunas experiencias dentro del aula de clase de Física y en proyectos en parques de diversiones, etc. En otras palabras, el estudio cumplió con lo siguiente: a) se determinó el valor de la aceleración de gravedad  $g$  en el laboratorio de física del Instituto Universitario de Tecnología del Estado Bolívar, Venezuela, obteniéndose los siguientes valores: (i)  $g = (9,757 \pm 0,003) \text{ m/s}^2$  para el sensor del teléfono celular inteligente y (ii)  $g = (9,8 \pm 0,1) \text{ m/s}^2$  para la experiencia del péndulo simple, b) que el acelerómetro del TCI es válido y con precisión, y c) por los resultados obtenidos, se puede recomendar, con finalidad pedagógica, al sensor del TCI como un dispositivo para determinar la aceleración de gravedad  $g$  y usarlo para monitorear y evaluar vibraciones en las experiencias del laboratorio de Mecánica.

## Referencias

- Agudelo J., García G. (2010) Aprendizaje significativo a partir de prácticas de laboratorio de precisión. *Latin American Journal of Physics Education* 4(1), 149-152.
- CONATEL (2013) *Estadística de telecomunicaciones al cierre del III trimestre de 2013*. Caracas. Comisión Nacional de Telecomunicaciones de Venezuela.
- Guillarón J., Lourenço A., Méndez L., Hernández A. (2013) Alcances y limitaciones actuales de la actividad experimental en las escuelas de enseñanza media de la provincia Santiago de Cuba: criterios de alumnos y profesores. *Latin American Journal of Physics Education* 7(1), 107-117.
- Guisasola J., Garmendía M., Montero A., Barragués J. I. (2012) Una propuesta de utilización de los resultados de la investigación didáctica en la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias* 30(1), 61-72.

- Hugh, Y., Freedman R. (2009) *Física universitaria*, 12ª ed. México. Pearson Educación.
- INTECO (2011) *Estudio sobre los hábitos de seguridad en el uso de Smartphone por los niños y adolescentes españoles*. Madrid. Instituto Nacional de tecnologías de la Comunicación. España.
- JCGM (2009) *Evaluación de Datos de Medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre Medida*, 3ª ed. en español. Edición digital 1 en español (traducción 1ª ed. sept. 2008) Primera edición Septiembre 2008 (original en inglés). Centro Español de Metrología.
- Kuhn J., Vogt P. (2012) Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 50(8), 504-505.
- Kuhn J., Vogt P. (2013a) Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone. *The Physics Teacher* 51(2), 118-119.
- Kuhn J., Vogt P. (2013b) Applications and examples of experiments with mobile phones and smartphones in physics lessons. *Frontiers in Sensors* 1(4), 67-73.
- Kuhn J., Vogt P. (2013c) Smartphones as Experimental Tools: Different Methods to Determine the Gravitational Acceleration in Classroom Physics by Using Everyday Devices. *European Journal of Physics Education* 4(1), 16-27.
- Massoni, N. T., Moreira M. A. (2010) Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la Física: una contribución para el aprendizaje significativo de la Física, con muchas cuestiones sin respuesta. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 9(2), 283-308.
- Meza L., Gallego H., Orozco H. (2009) Medición de la gravedad empleando el dispositivo “Caída libre” con base al micro controlador PIC 16F84A y su correspondiente incertidumbre de medida. *Scientia et Technica* XV(42), 248-253.
- Sans J. A., Manjón F. J., Pereira A. L. J., Gómez-Tejedor J. A., Monsoriu J. A. (2013) Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor. *European Journal of Physics* 34(6), 13-49.
- Vogt P., Kuhn J. (2012a) Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 50(3), 182-183.
- Vogt P., Kuhn J. (2012b) Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 50(7), 439-440.
- Vogt P., Kuhn J. (2013) Analyzing radial acceleration with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 51(3), 182-183.