

# Estudio del movimiento de proyectiles utilizando sensores de un teléfono inteligente

## Study of the movement of projectiles using sensors of a smartphone

Brenda P. RODRÍGUEZ Villanueva [1](#); Roberto D. MARTÍNEZ Mejía [2](#); Claudia P. MEDINA Mosquera [3](#); Sandra RODRÍGUEZ Villanueva [4](#); Ethel M. DE LA HOZ Valdiris [5](#)

Recibido: 09/04/2018 • Aprobado: 24/05/2018

### Contenido

- [1. Introducción](#)
  - [2. Fundamentos Físicos](#)
  - [3. Metodología](#)
  - [4. Discusión de los resultados](#)
  - [5. Conclusiones](#)
- [Referencias](#)

#### RESUMEN:

En el presente proyecto se propone una forma alternativa de estudiar experimentalmente el movimiento de proyectiles con el uso del sensor acelerómetro, de un teléfono inteligente (TI). Permitiendo determinar el comportamiento de la aceleración en el eje  $y$ , ( $a_y = -g$ ), tiempo de vuelo ( $t_{vuelo}$ ), el valor del ángulo inicial  $\theta_0$  y la velocidad inicial  $v_0$  del lanzamiento. Presentando una forma fácil de experimentar en el aula de clase con la ayuda de los TI.

**Palabras clave:** Movimiento de proyectiles, sensor acelerómetro, teléfonos Inteligentes.

#### ABSTRACT:

The present project proposes an alternative way to experimentally study the movement of projectiles using the accelerometer sensor, from a smartphone (TI). Allowing to determine the acceleration behavior on the  $y$  axis, ( $a_y = -g$ ), flight time ( $t_{flight}$ ), the initial angle value  $\theta_0$  and the initial launch velocity  $v_0$ . Presenting an easy way to experiment in the classroom with the help of TI.

**Keywords:** Projectile movement, accelerometer sensor, Smart phones

## 1. Introducción

En la enseñanza de la física, para lograr un aprendizaje significativo en los estudiantes, se hace necesaria la complementación experimental (Molina-Coronell & Rodríguez-Villanueva, 2015). De allí que existan muchas prácticas de laboratorio diseñadas para tal fin. En algunos casos incluso haciendo uso de simulaciones, para el estudio de un fenómeno físico, pero dejando a un lado la manipulación directa o real de este.

Por otra parte, el uso masivo de los teléfonos inteligentes (TI) y los sensores con los que estos están equipados han propiciado su utilización como instrumentos de medida en la enseñanza de diversos temas en física. (Molina-Coronell & Rodríguez-Villanueva, 2015), (Vogt & Kuhn, 2012, 2013), (Oprea y Miron, 2014), (Vogt, Kuhn, y Theilmann, 2016), (Vogt, Kuhn, & Müller, 2011), (Castro-Palacio, Velázquez-Abad, Giménez, y Monsoriu, 2013), (Streepey, 2013), (Chevrier,

Madani, Ledenmat, y Bsiesy, 2013), (Shakur & Sinatra, 2013), (Monteiro, Cabeza, Martí, 2014), (Monteiro, Cabeza, Martí, Vogt, y Kuhn, 2014), (Thoms, Colicchia, y Girwidz, 2013), (Sans, Manjón, Pereira, Gómez-Tejedor, y Monsoriu, 2013), (Castro-Palacio, Velázquez-Abad, Giménez, y Monsoriu, 2013), (Martin & Ertzberger, 2013).

Generando nuevas alternativas para la experimentación en física de forma sencilla y significativa para los estudiantes, cambiando la perspectiva de que el teléfono inteligente es un elemento distractor en clase, por el de un multi-medidor portátil de variables físicas, en este sentido, Monteagudo (2012) explica que: "El único obstáculo importante actualmente en la mayoría de los centros, sobre todo de Educación Secundaria, es que los teléfonos móviles están prohibidos. Esto supone que debe existir un cambio de mentalidad importante en cómo se consideran estos dispositivos, si como vehículos de distracción o de aprendizaje." p.249.

Permitiendo de esta forma: "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", (Monteiro, Cabeza y Martí, *s.f.* p.1) acercando y motivando aún más al estudiante al mundo de la Ciencia.

En la enseñanza del Movimiento bidimensional, particularmente el Movimiento de proyectiles, existen prácticas de laboratorio que utilizan lanzadores de proyectiles para la medida del alcance horizontal, variando el Angulo de lanzamiento. Presentando la dificultad en la medida del tiempo y estudio del comportamiento de la independencia de los movimientos en los ejes x y y.

Otra forma alternativa utilizada en la enseñanza de este tema, es imprimir un impulso inicial a una canica sobre una mesa para que se desplace en línea recta hasta salir del borde de la mesa describiendo una trayectoria semiparabólica hasta golpear el suelo. Esto con el fin de hacer medidas simultaneas de x, y según la marca dejada en una barrera que se coloca en distintos puntos de la trayectoria, permitiendo realizar cálculos de las variables asociadas al experimento, pero con baja precisión. USC (*s.f.*).

De otra parte, Peña (2014), propone la utilización de un lanzador casero de proyectiles de aire comprimido, y la grabación en video digital como herramienta de trabajo y análisis.

También se encuentran programas que simulan el movimiento de un proyectil permitiendo cambiar el ángulo de lanzamiento y la velocidad inicial; arrojando la gráfica de la trayectoria, el alcance horizontal, la altura y tiempo de vuelo, Navarro (2016).

Existen otros equipos para este fin, aunque más costosos y complejos que incorporan sensores y lanzadores de proyectiles más sofisticados.

A continuación, se plantea como de forma sencilla, y alto grado de precisión, se puede estudiar el movimiento de proyectiles. Utilizando la tecnología que tenemos a la mano como es el sensor acelerómetro de un TI a través de una aplicación descargada desde Play Store.

---

## **2. Fundamentos Físicos**

### **2.1. Movimiento de Proyectiles**

Desde el punto de vista clásico, sin rozamiento, y considerando la intensidad del campo gravitatorio ( $g$ ) constante en el entorno del lanzamiento [6], el movimiento de un proyectil en relación a un sistema de coordenadas cartesianas (Serway, 1995), se caracteriza por una trayectoria parabólica.

Si se elige el sistema de referencia de modo que la dirección y sea vertical y positiva hacia arriba, entonces  $a_y = -g$  (como en una caída libre unidimensional) y  $a_x = 0$  (se desprecia la fricción del aire).

Considerando en  $t_0 = 0$ ,  $x_0 = y_0 = 0$ , con una velocidad inicial  $v_0$ , las ecuaciones paramétricas en función del tiempo y la trayectoria son las siguientes (Serway, 1995, vol. 1, p. 73):

$$v_x = v_0 \cos \theta_0 = \text{constante} \quad (1)$$

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt \quad (2)$$

$$x = v_0 \cos \theta_0 t \quad (3)$$

$$y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad (4)$$

Realizando algunas consideraciones se puede llegar a expresiones para  $t_{\text{vuelo}}$  (tiempo que dura en el aire el proyectil antes de tocar el suelo) y alcance horizontal  $R$ , y  $h$  su altura máxima:

$$t_{\text{vuelo}} = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (5)$$

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2g} \quad (6)$$

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g} \quad (7)$$

Para hallar  $\theta_0$ , se despeja  $v_0$  de la Ec. 5

$$v_0 = \frac{gt_{\text{vuelo}}}{2 \sin \theta_0} \quad (8)$$

Reemplazando en la Ec. 7 se obtiene:

$$R = \frac{\left(\frac{gt_{\text{vuelo}}}{2 \sin \theta_0}\right)^2 \sin 2\theta_0}{g} \quad (9)$$

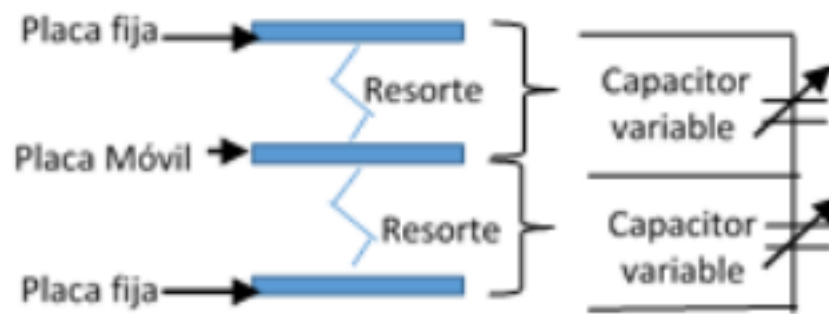
De allí despejando  $\theta_0$ , se obtiene:

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left( \frac{gt_{\text{vuelo}}^2}{2R} \right) \quad (10)$$

## 2.2. Funcionamiento del acelerómetro en un TI

El sensor acelerómetro es un chip que internamente está formado por un tubo que contiene un resorte y una masa. Esta masa se desplaza verticalmente en función de la orientación del TI, por lo que con la interpretación conjunta de tres tubos situados en cada uno de los ejes de coordenadas podemos saber la posición exacta del móvil.

**Fig. 1**  
Funcionamiento del sensor acelerómetro  
(Vogt and Kuhn, 2012)



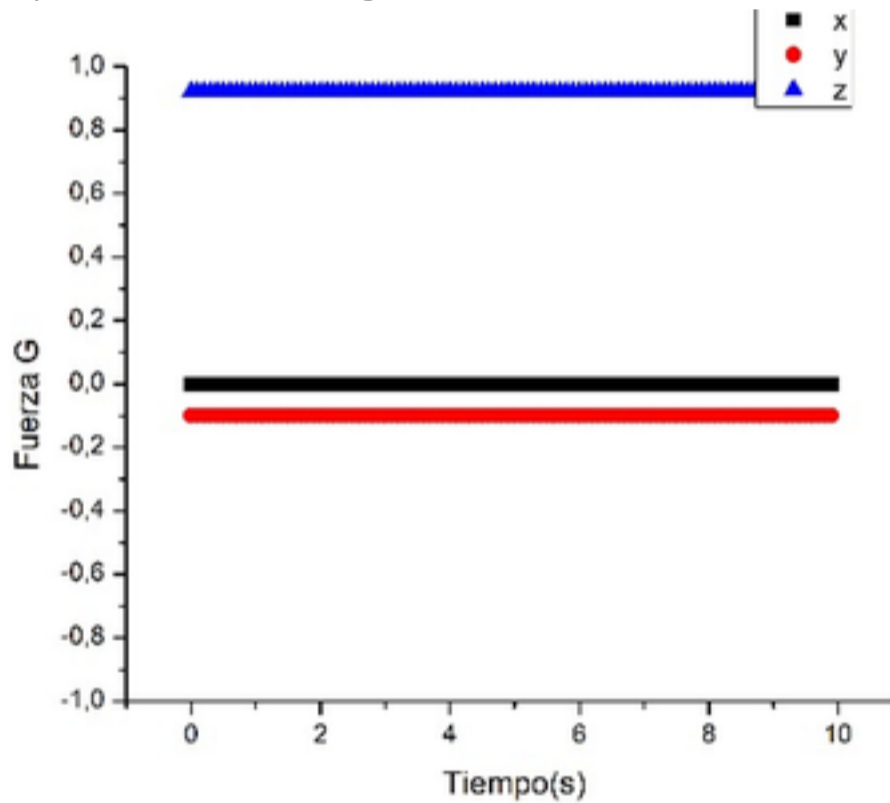
En la Figura1, se muestra el funcionamiento del sensor acelerómetro, constituido de tres placas paralelas que forman dos capacitores variables, cada uno constituido por una placa fija y una placa móvil que tienen en común. Esto permite que según la posición del TI cambie la distancia de separación entre las placas y por tanto, el valor de la capacitancia. Este cambio de capacidad es detectado y procesado para obtener un voltaje de salida. (Universidad de Sevilla, p. 43).

Es importante mencionar que este sensor se encuentra en la gran mayoría de TI, lo que permite que esta experiencia pueda ser reproducida con facilidad.

Se utilizó la aplicación: Physics Toolbox Accelerometer, que arroja un gráfico de la aceleración gravitacional en función del tiempo (s). Esta aplicación permite enviar los datos por correo electrónico y de allí importarlos a un programa de procesamiento de datos. En este caso se utilizó el software OriginPro 8.5

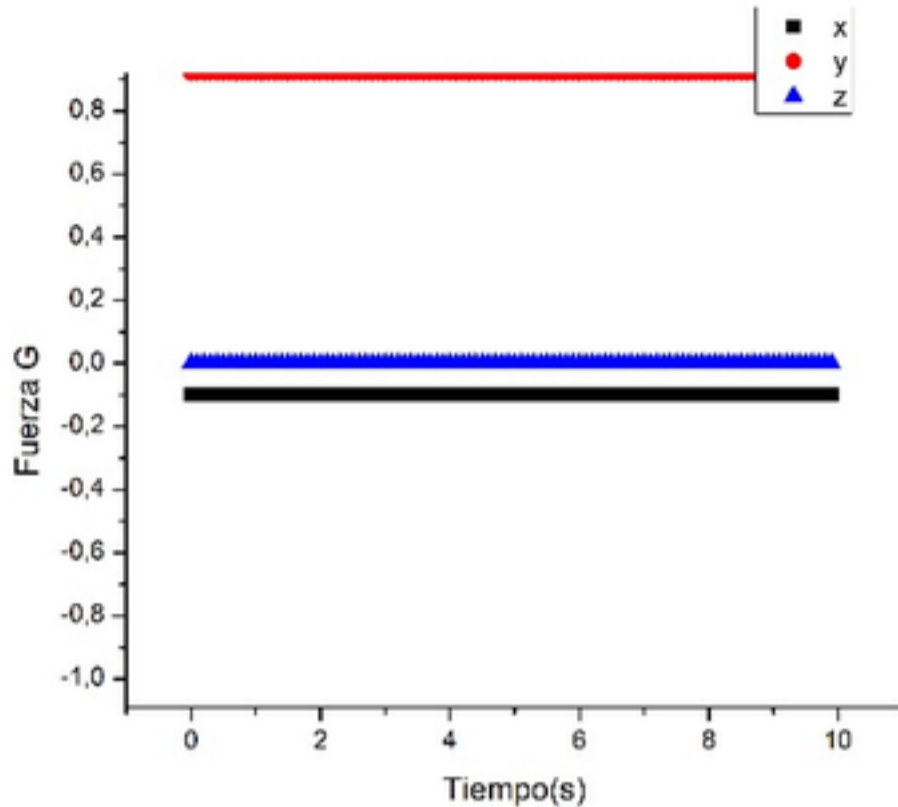
**Fig. 2**

El TI en posición vertical formando un ángulo de 90° con la horizontal presenta: aceleración gravitacional  $a_z = 0.92, a_x = -0.1, a_y = 0$



**Fig. 3**

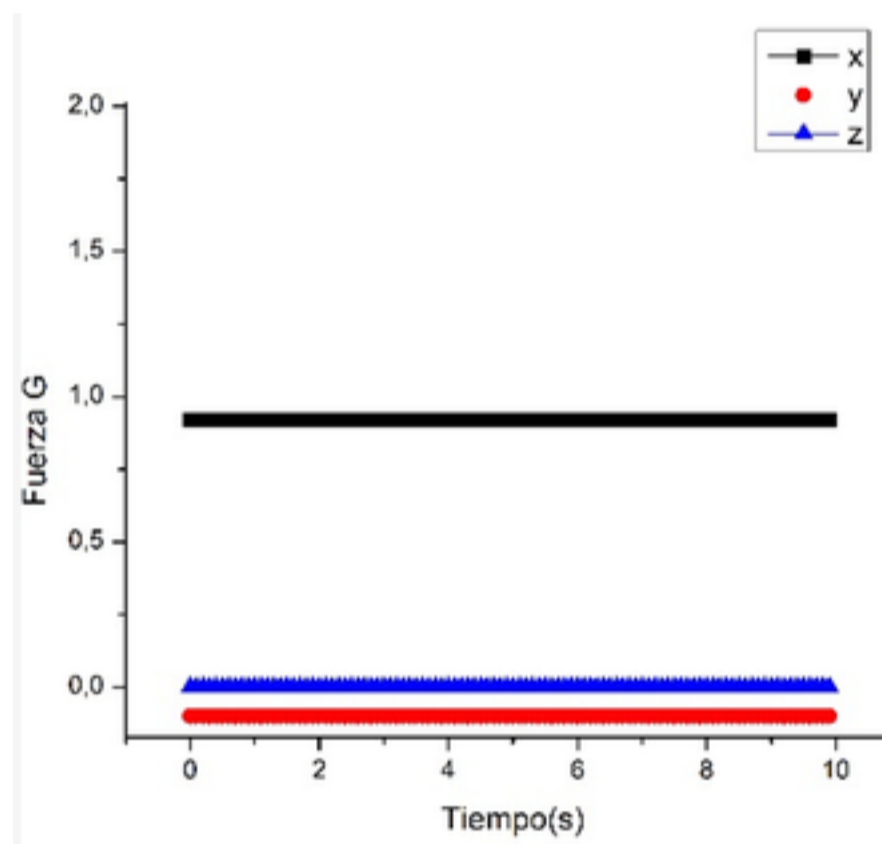
El TI en posición horizontal formando un ángulo de 0° con la horizontal presenta: aceleración.  $a_y = 0.92, a_x = -0.1, a_z = 0$



**Fig. 4**

El TI en posición lateral con la horizontal presenta:

aceleración  $a_x = 0.92, a_y = -0.1, a_z = 0$



En las figuras 2, 3 y 4 se presentan los diferentes gráficos de aceleración gravitacional vs tiempo, asociadas a tres posiciones diferentes del TI utilizado en la experiencia, estando en reposo; lo que permite comprobar el buen funcionamiento del sensor y la aplicación. Determinando a su vez el comportamiento esperado de la aceleración en los tres ejes para las diferentes posiciones del teléfono inteligente.

Por tanto, de acuerdo a lo anterior en el presente experimento la aceleración objeto de estudio es la correspondiente al eje axial, az (asociada al movimiento uniformemente acelerado).

### 3. Metodología

Se utilizó un TI Samsung GT-S6310L.

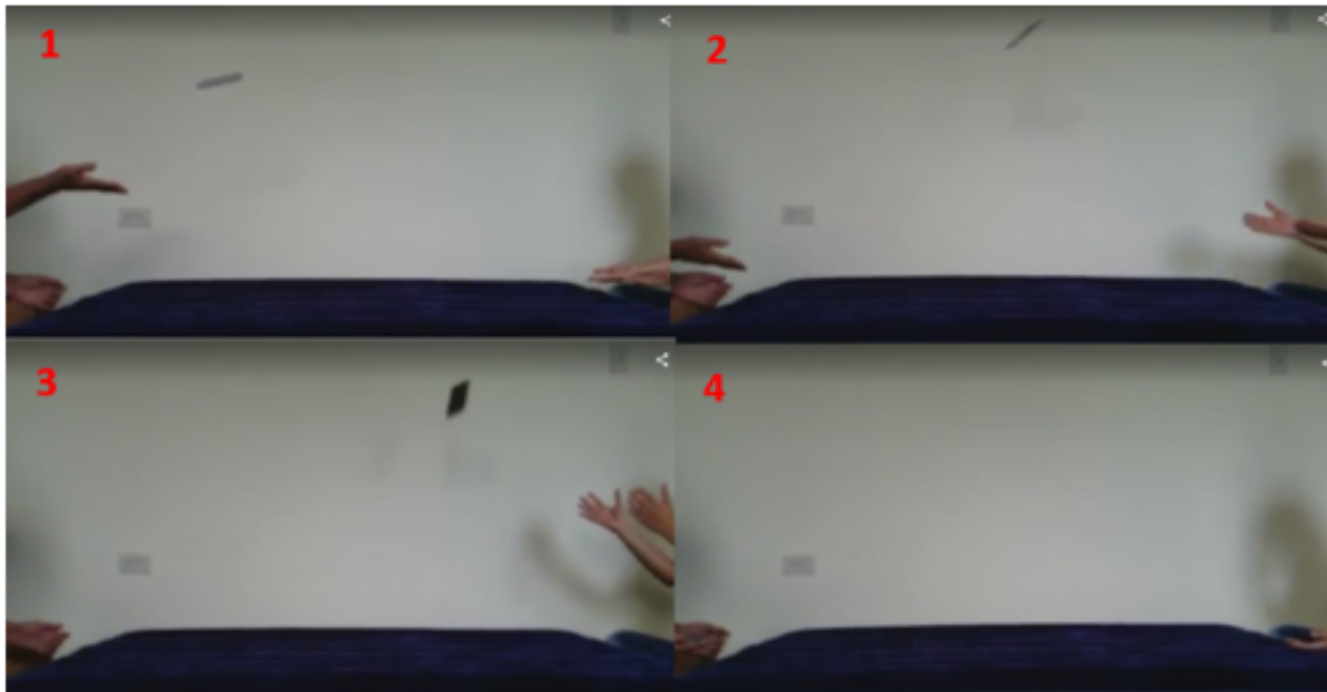
La toma de datos se inicia con la activación de la aplicación: Physics Toolbox Accelerometer descargada previamente en el TI desde Play Store.

Para realizar el experimento se requiere de dos personas que se encuentren en el mismo plano, para reducir el error asociado a alturas diferentes entre el punto de lanzamiento y el de recepción del TI, en este caso  $R = 1,2$  m. Como se muestra en la Fig. 5, en la secuencia de imágenes.

**Fig. 5**

Desarrollo de la experiencia





Para evitar que el TI, pueda dañarse al golpear la superficie del piso en caso de fallar al momento de intentar atraparlo, se colocó una espuma en el área de posible impacto.

#### 4. Discusión de los resultados.

Al realizar el lanzamiento parabólico del TI, después de activar la aplicación: Physics Toolbox Accelerometer, se genera una gráfica de la aceleración gravitacional en función del tiempo (Figura 6). En este caso, se observa que antes del lanzamiento aparece un valor promedio de 0.92 la aceleración gravitacional, esto permite conocer qué porcentaje de la aceleración de la gravedad mide el TI.

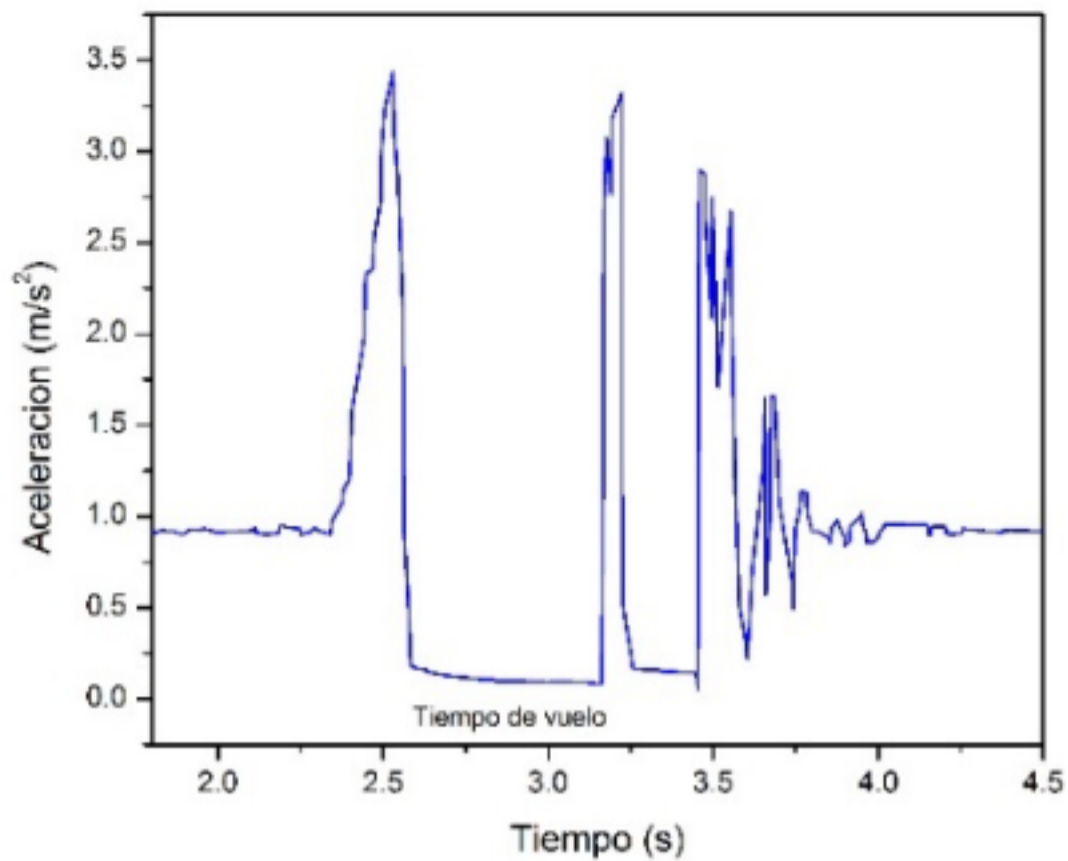
Para determinar el tiempo de vuelo del proyectil se toma la región en la gráfica donde la aceleración gravitacional es cero o cercana a ese valor, comportamiento similar al reportado por varios autores en el estudio de la caída de los cuerpos utilizando un TI (Vogt and Kuhn, 2012), (Oprea y Miron, 2014) siendo, por tanto,  $t_{\text{vuelo}} = 3,165\text{s} - 2,577\text{s} = 0,588\text{s}$ .

Después de ser atrapado el TI, el sensor registra muy altas variaciones de aceleración esto debido al régimen oscilante dinámico en la plataforma de amortiguación y se detiene después de un rato, volviendo al valor inicial de la Fuerza G.

La interpretación de la información obtenida mediante la figura 6, puede representar la mayor dificultad para el estudiante, porque en el grafico aparece un comportamiento inusual de la aceleración ya que de acuerdo a lo planteado en la teoría para este tipo de movimientos  $a_y = -g$  (Serway, 1995) y se encuentra que en los puntos asociados al  $t_{\text{vuelo}}$  del TI, la aceleración es igual a cero.

**Fig. 6**

Aceleración gravitacional en función del tiempo.



Lo anterior se debe al funcionamiento del sensor acelerómetro, comparable con lo que se presenta, por ejemplo, en un ascensor que, al bajar se experimenta una disminución del peso y cuando sube un aumento de este, proporcional a la aceleración del ascensor (Vogt and Kuhn, 2012).

Remplazando en la *Ec. 10*, los valores de  $R$  y  $t_{\text{vuelo}}$  se determina el  $\theta_0$

$$\theta_0 = 52.96^\circ$$

Remplazando en la *Ec. 8*, se obtiene  $v_0$

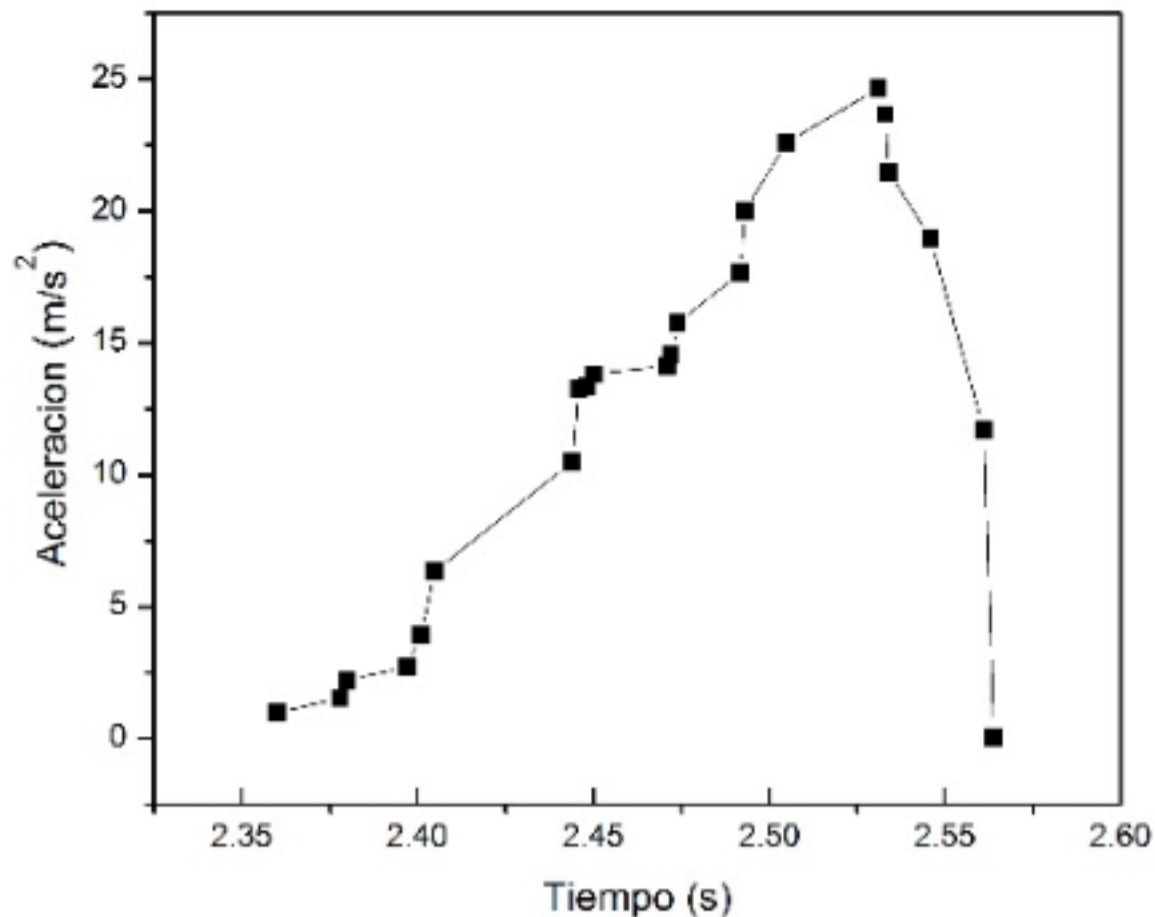
$$v_0 = 2,36 \text{ m/s}$$

A modo de comparación se obtuvo el valor de la  $v_0$  del TI, por medio del área bajo la curva de los puntos asociados a las variaciones de aceleración previas al lanzamiento, como se muestra en la Figura 7. Encontrándose el valor de

$$v_0 = 2,597 \text{ m/s}, \text{ valor cercano al obtenido por el remplazo de ecuaciones.}$$

**Fig. 7**

Grafico correspondiente al área bajo la curva obtenida por el programa OriginPro 8.5 para determinar la  $v_0$ .



## 5. Conclusiones

Con la utilización del sensor acelerómetro, de un TI a través de la aplicación Physics Toolbox Accelerometer, se plantea una forma sencilla de estudiar experimentalmente el movimiento de proyectiles. Permitiendo determinar el comportamiento de la aceleración en el eje  $y$ , ( $a_y = -g$ ), el tiempo de vuelo, el valor del ángulo inicial  $\theta_0$  y la velocidad inicial  $v_0$  del lanzamiento.

La utilización de los TI en la experimentación en física representan una alternativa de fácil aplicación en el aula de clase, ya que esta tecnología está al alcance de todos y los estudiantes la portan en su mayoría.

La tecnología móvil abre la puerta a un nuevo tipo de aprendizaje denominado aquí y ahora que se produce cuando los alumnos tienen acceso a la información en cualquier momento y en cualquier lugar para realizar actividades auténticas en el contexto de su aprendizaje (Martin & Ertzberger, 2013). Por tanto, este es un nuevo camino que se abre paso en la didáctica de la Física.

## Referencias

Castro J, Velázquez L, Giménez M Y Monsoriu, J. (2013). Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations. *Am. J. Phys.* **81**, 472.

Castro J, Velázquez L., Giménez F, Y Monsoriu J. (2013). "A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors," *Eur. J. Phys.* **34**, 737-744.

Chevrier J., L. Madani, S. Ledenmat, Y Bsiey A. (2013). Teaching classical mechanics using smartphones. *Phys. Teach.* **51**, 376.

Martin F Y Ertzberger J. (2013). Here and Now Mobile Learning: An Experimental Study on the Use of Mobile Technology. *Computers & Education*, **68**, 76-85. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.04.021>

Molina J y Rodríguez B. (2015). Construcción de un generador electromecánico para la enseñanza de ondas en cuerdas, utilizando generador virtual para Tablet. *Revista Mexicana de Física E*, **61**, 65-68.

Monteagudo J. (2012). Dispositivos móviles en el aula. El aprendizaje en nuestras manos. En *Tendencias emergentes de educación con TIC*. (pp. 245- 262) 1ra ed. Espiral. Barcelona España.

Monteiro M., Cabeza C. y Martí A. (s. f.). Recuperado de <http://www.fisica.edu.uy/~marti/papers/sensores-REF-2.pdf>

Monteiro M., Cabeza C., y Martí A.C.(2014). Exploring phase space using smartphone acceleration and rotation sensors simultaneously. *European Journal of Phys.* **35**(4), 7

Monteiro M., Cabeza C., Martí. A. C. Vogt P., and Kuhn J. (2014). Angular velocity and centripetal



acceleration relationship. *Phys. Teach.* **52**(5), 312-313.

Navarro F.J. (20 de junio de 2016). Laboratorio de movimientos. Tiro parabólico. [Mensaje de Blog]. Recuperado de <http://newton-aula-eso-bto.blogspot.com.co/2010/10/tiro-parabolico.html>

Oprea M Y Miron C. (2014). Mobile phones in the modern teaching of physics. *Romanian Reports in Physics.* **66**(4), 1236-1252.

Peña V. (2014). Diseño de una experiencia de tiro parabólico para Bachillerato. (Tesis de Maestría). Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6326/1/TFM-G%20289.pdf>

Sans J, Manjón F, Pereira A, Gómez J, y Monsoriu J. (2013). Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor. *Eur. J. Phys.* **34**, 1349-1350.

Serway (1995). *Física*. (Vol I). 3ra ed. Mc Graw Hill, Mexico.

Shakur A. Y Sinatra T. (2013). Angular momentum. *Phys. Teach.* **51**, 564.

Streepey J. W. (2013) Using iPad to illustrate the impulse-momentum relationship. *Phys. Teach.* **51**,54.

Thoms L.J., Colicchia G., Y Girwidz R. (2013). Color reproduction with a smartphone. *Phys. Teach.* **51**(7), 440-441.

Universidad de Sevilla(s.f.). Sensor medidor de Aceleración. ACELERÓMETRO. Capítulo 4. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11638/fichero/Capitulo+4.pdf>

USC (s.f.). Guías únicas de laboratorio de física I. Movimiento en dos dimensiones movimiento parabólico. Recuperado de

<http://www.usc.edu.co/files/LABORATORIOS/GUIAS/CIENCIAS%20BASICAS/LABORATORIO%20PARA%20FISICA%20I/MOVIMIENTO%20PARABOLICO.pdf>

Vogt P. Y Kuhn J. (2012). Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor, *Phys. Teach.* **50**, 182-183. <https://doi.org/10.1119/1.3685123>, **Scitation**

Vogt P., Kuhn J., Y Theilmann F. (2016). Measuring free-fall acceleration by analyzing the sound of falling metal pieces. *Phys. Teach.* **54**(3), 182.

Vogt P., Kuhn J., Y Müller S. (2011). Relevant information about using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments. *Phys. Teach.* **49** 383.

---

1. Licenciada en Matemática y Física. Especialista en Física General. Especialista en Pedagogía de las Ciencias. Magister en Educación. Actualmente Estudiante Doctoral de Currículo y enseñanza en tecnología del aprendizaje. Universidad de Puerto Rico. Docente Universitario y de educación Secundaria y Media con 10 años de experiencia. Universidad de la Costa. Correo: [brodrigu1982@gmail.com](mailto:brodrigu1982@gmail.com)

2. Ingeniero de Sistemas. Licenciado en Ciencias de la educación especialidad Lenguas Modernas. Especialista en Pedagogía de las Ciencias. Magister en Educación. Estudiante Doctoral de Currículo y enseñanza en tecnología del aprendizaje. Universidad de Puerto Rico. Docente de educación Secundaria y Media con 15 años de experiencia. Correo: [roberto367@gmail.com](mailto:roberto367@gmail.com)

3. Ingeniero de Sistemas. Especialista en Estudios pedagógicos. Magister en Informática. Docente Universitario con más de 10 años de experiencia. Docente Tiempo Completo (Líder Pedagógico del departamento de Gestión Industrial, Agroindustrial y de operaciones de Ingeniería), Universidad de la Costa CUC. Correo: [cmedina4@cuc.edu.co](mailto:cmedina4@cuc.edu.co)

4. Físico. Magister en Ciencias Físicas. Universidad de Puerto Rico. Actualmente Estudiante Doctoral de Físico-Química. Universidad de Puerto Rico. Docente Universitario y de educación Secundaria y Media con 6 años de experiencia. Universidad de Puerto Rico. Correo: [sandra.rodriguez5@upr.edu](mailto:sandra.rodriguez5@upr.edu)

5. Ingeniera de Sistemas. Especialista en Auditoria de Sistemas de Información. Especialista en Estudios Pedagógicos. Magister en Educación. Docente Tiempo Completo (Líder Pedagógico del departamento de Computación y Electrónica), Universidad de la Costa CUC. Correo: [edelahoz3@cuc.edu.co](mailto:edelahoz3@cuc.edu.co)

6. Esta aproximación es razonable en la medida que el alcance del movimiento sea pequeño comparado con el radio terrestre. Para poder suponer a la tierra plana en el rango del lanzamiento.